

RESTAURATION D'UNE HORLOGE MERE DE PRECISION SIGNEE PEYER ET FAVARGER

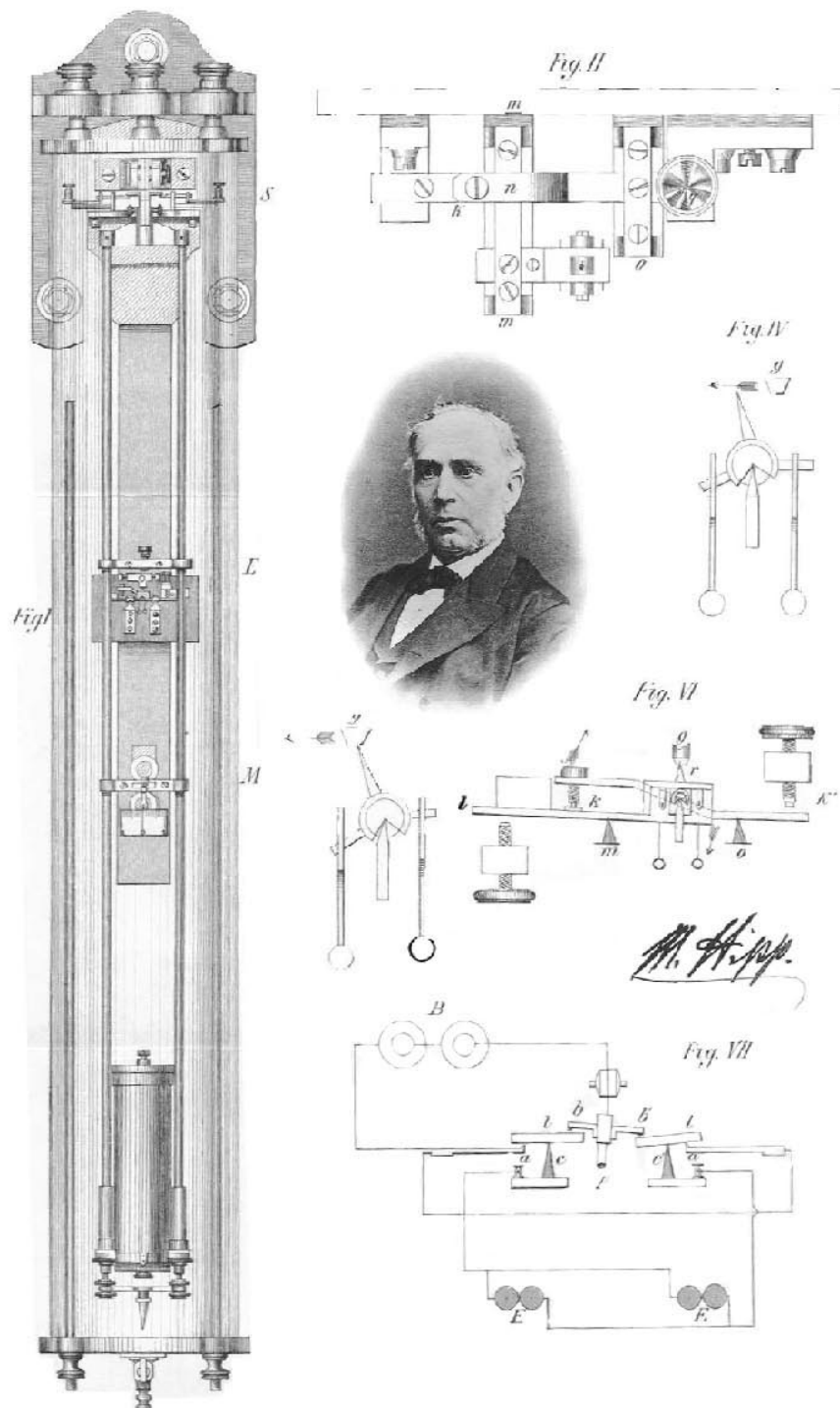
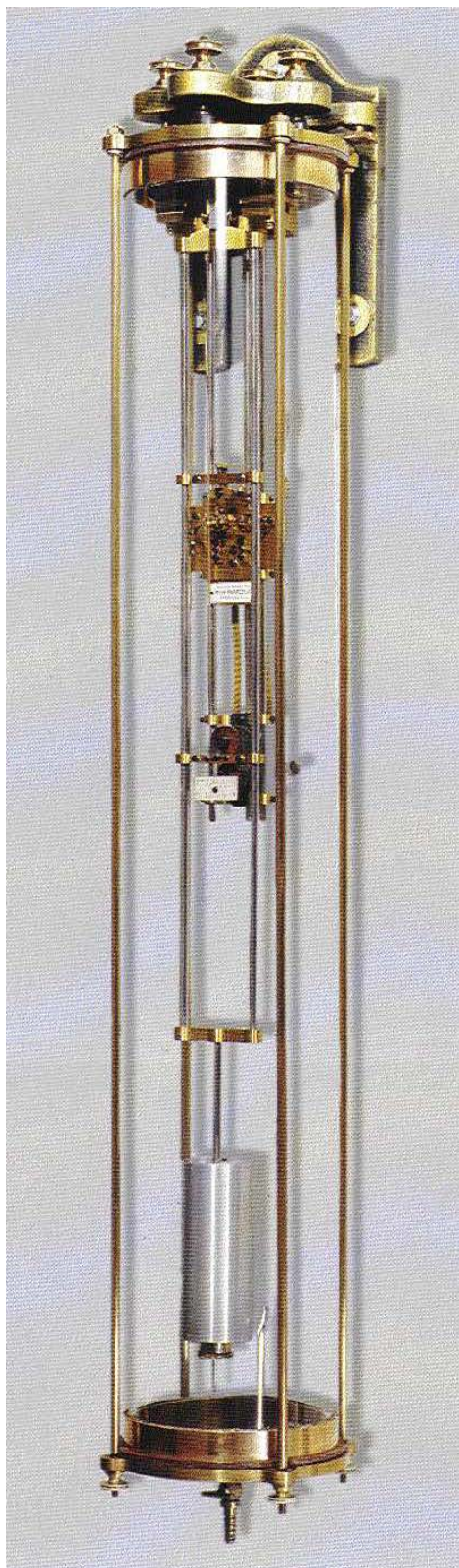


TABLE DES MATIERES

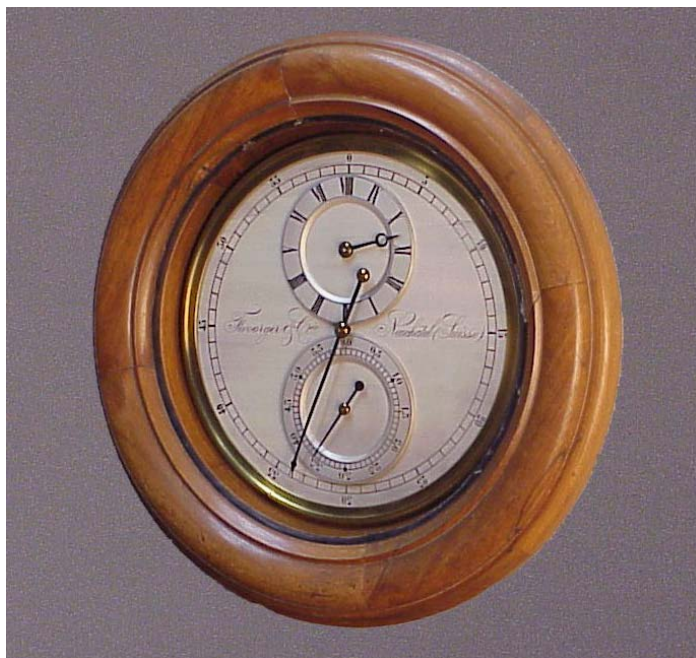
1. INTRODUCTION	1
2. HISTORIQUE	
2.1. Histoire de Mathias Hipp	2
2.2. Régulateurs de Hipp et de ses successeurs à l'observatoire de Neuchâtel	15
2.3. Pendule mère Peyer et Favarger à l'école technique de la Chaux-de-Fonds	22
3. DESCRIPTION	
3.1. L'horloge mère	23
3.2. L'horloge secondaire	24
4. TECHNIQUE	
4.1. Fonctionnement de la pendule	25
4.2. Réglages	28
4.3. Calcul de la consommation de l'échappement	31
4.4. Schéma des branchements électriques	33
4.5. Fonctionnement des horloges secondaires	34
4.6. Essais sur la pression de l'air	37
4.7. Les laques ou vernis anciens	41
5. RESTAURATION	
5.1. L'échappement	45
5.2. L'appareil de contact	47
5.3. Le support de l'ampoule	48
5.4. Le support de suspension	48
5.5. La suspension	48
5.6. Le support principal	49
5.7. Les bornes d'alimentation	49
5.8. Le robinet	50
5.9. Le cylindre de verre	50
6. REMERCIEMENTS	51
7. CONCLUSION	52
8. BIBLIOGRAPHIE	53
9. ANNEXES (TABLEAU DES MARCHES, COURRIER, MANUSCRITS DE HIPPE ET DE FAVARGER,...)	

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de mon service civil effectué au Musée International d'Horlogerie à La Chaux-de-Fonds, Jean-Michel Piguet, conservateur adjoint, m'a confié la restauration d'une pendule électrique de précision signée « Ancienne maison Hipp, Peyer, Favarger et Cie, Neuchâtel (Suisse) »



Ce rapport est composé d'une partie historique qui retrace la vie de Hipp, la mise au point de sa première pendule astronomique vendue à l'observatoire de Neuchâtel et le parcours de l'horloge mère installée à l'école d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds en 1908. La seconde partie explique le travail de restauration, les particularités techniques et le mode de fonctionnement de la pendule.



2. HISTORIQUE

2.1 HISTOIRE DE MATTHIAS HIPPI

Sources : Journal Suisse d'Horlogerie août 1893, Pionniers suisses de l'économie et de la technique N°5 (1960), Bulletin de la société des sciences naturelles de Neuchâtel (1897.)



Le moulin du couvent de Blaubeuren (Wurtemberg). Lieu de naissance et berceau de la jeunesse de Mathias Hipp

Matthias Hipp est né le 25 octobre 1813 à Blaubeuren (Würtemberg.) Son père possède un moulin, avec huilerie et scierie, ce qui éveille chez le jeune garçon le goût de la mécanique. Un accident perturbe ses premières années d'études; cependant, en 1829, il a déjà suivi l'école primaire et fait deux années de gymnase, ce qui, à cette époque, suffit pour la vocation d'ecclésiastique ou d'employé du gouvernement. Il préfère cependant devenir horloger et fait son apprentissage à Blaubeuren, puis il quitte sa ville natale et travaille successivement pendant sept ans à Ulm, St-Gall, St-Aubin etc. C'est à St-Gall, en 1834, qu'il découvre, le principe de l'échappement à palettes qu'il garde en mémoire pour le réaliser quelques années plus tard. En 1835, il met le cap sur St-Aubin. Accueilli par M. Savoie, il complète son apprentissage chez cet industriel et s'initie aux spécialités de l'horlogerie suisse. A cette époque, les quelques rares fabriques d'ébauches ne produisent qu'une partie des pièces du mouvement de la montre, presque à l'état brut, laissant à l'horloger le soin de finir et d'assembler les pièces détachées selon les règles établies pour obtenir un bon réglage.

Dans ses moments libres, il poursuit ses recherches concernant la construction d'une horloge munie d'un pendule actionné électriquement.

En 1841, il se fixe à Reutlingen, une ville du Wurtemberg active et remuante, comme fabricant d'horlogerie. A peine établi, il épouse Johanna Pleininger, fille d'un instituteur. Elle lui donnera quatre filles et un fils. Par le mariage de sa petite fille, Mathilde Vuithier, avec un notaire de Neuchâtel, Ed. Petitpierre, Matthias Hipp se trouve être l'arrière-grand-père maternel de l'ancien conseiller fédéral, Max Petitpierre.

Agé de 28 ans, Hipp s'établi à son propre compte et est en mesure de s'attaquer à la mise au point des inventions auxquelles il pense jour et nuit, et plus spécialement à la construction d'un nouveau système de pendule permettant d'obtenir une précision inconnue jusqu'alors. Mais ce chercheur, cet inventeur passionné, se préoccupera fort peu de l'exploitation industrielle de ses découvertes. Pour lui, la recherche passe bien avant le profit. En fait, il n'est guère commerçant.

A cette époque, l'électricité fait son apparition. Entraîné par ce courant dont il pressent le développement, Hipp sera un des premiers à s'occuper de ses possibilités d'application. En 1843, il construit un petit moteur électrique à Reutlingen et cherche constamment les meilleures dispositions des piles et des batteries. Il invente plusieurs systèmes de télégraphe électrique, dont le télégraphe écrivant en caractères anglais, qui fonctionne à merveille.

La première de ses inventions faite à Reutlingen est celle du pendule à palette. (figure 1)

En voici une brève description :

Il s'agit d'une horloge composée d'un pendule battant la demi-seconde, mû électriquement grâce à un organe essentiel, la palette. Le contact se ferme lorsque l'amplitude étant devenue insuffisante, la contre palette arc-boute avec la palette et, ce faisant, lance une impulsion de courant dans un électro-aimant situé sous le pendule, excluant ainsi l'emploi de rouage, de ressort ou de poids.

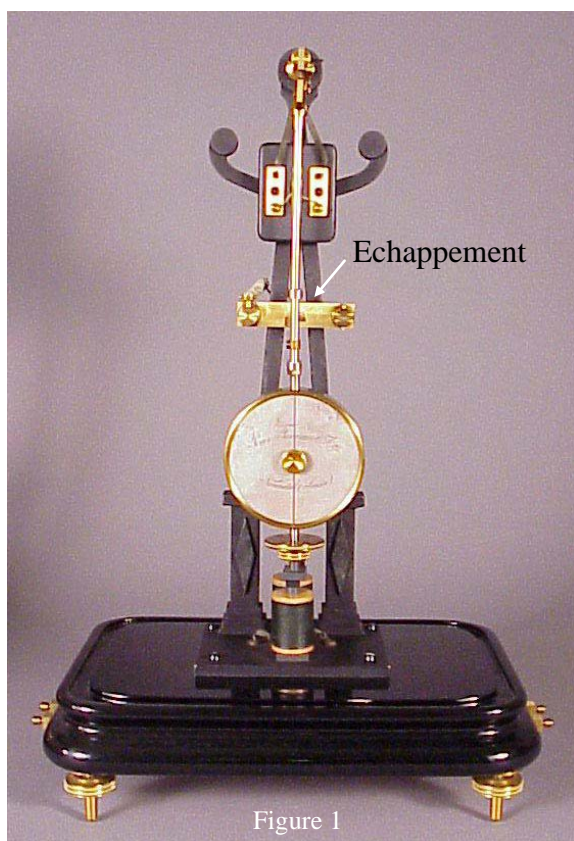


Figure 1

Ce principe est d'une telle simplicité qu'il a été fabriqué jusque dans les années 1970 dans sa forme originale et se trouve sur des milliers d'horloges dont quelques-unes fonctionnent encore actuellement.

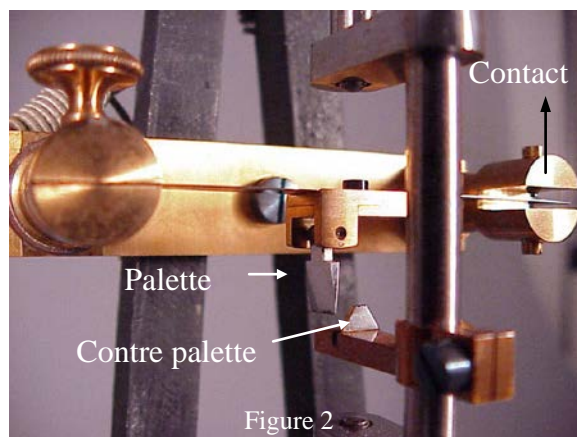


Figure 2

Les spécialistes paraissent n'avoir pas saisi l'intérêt de ce mode de déclenchement, qui imprime au pendule l'impulsion nécessaire pour continuer indéfiniment ses oscillations, sans altérer son mouvement. A l'exposition nationale de Berlin en 1843, le rapport officiel se borne à signaler d'une façon aussi parfaite que concise « une horloge qui a son mouvement au bas du pendule.»

Hipp ne se laisse pas décourager et poursuit allègrement la série de ses inventions. En 1843, il construit un chronoscope* (fig. 3) basé sur le principe électromagnétique et capable d'enregistrer automatiquement le commencement et la fin d'une observation. Cet appareil dénommé aussi « montre de Hipp » qui mesure les millièmes de seconde avec autant de facilité que de précision, a rendu des services inappréciables aux savants et techniciens du monde entier.

Lors de ces travaux, Hipp a toujours procédé par la méthode synthétique, c'est à dire qu'il se pose le problème clairement, fixe à priori toutes les conditions de réussite et les réalise les unes après les autres sans se laisser décourager, n'abandonnant jamais rien au hasard. Aussi, ses premières créations sont-elles, aussi bien que les dernières, des inventions dans le vrai sens du mot.

On ne retrouve jamais deux appareils identiques sous les noms de Hipp, Peyer et Favarger, Favarger. Il y a toujours un ressort différent, une disposition légèrement modifiée et bien d'autres petits détails qui font l'originalité de chaque objet.



Figure 3

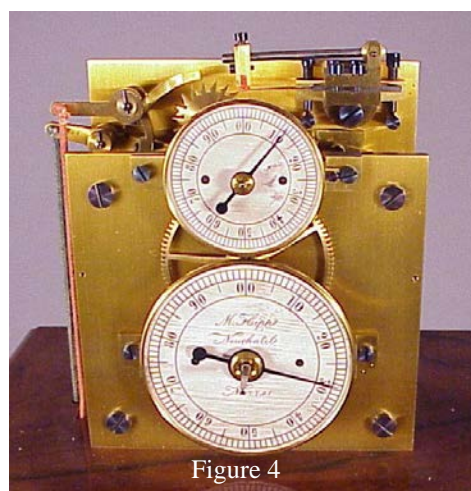


Figure 4

* Terme exact pour désigner ce que les horlogers appellent le chronographe. Le chronoscope indique les intervalles de temps tandis que le chronographe devrait les inscrire.
Voir la description de cet instrument dans le journal suisse d'horlogerie, X^{ème} année, page 261.

Malgré des connaissances assez limitées, Matthias Hipp découvre et explique plusieurs problèmes fort compliqués, relatifs à l'électricité, se créant une théorie à chaque fois qu'il en avait besoin, avec les seules ressources de son bon sens. Il sait en outre concilier les exigences de la théorie avec celles si différentes de la facilité d'exécution et de la production à bon marché. Ses inventions ne représentent pas seulement des modèles de musée mais sont au contraire excessivement pratiques comme ces horloges électriques et ces signaux pour chemin de fer.

Le séjour de Hipp à Reutlingen coïncide avec le progrès de la télégraphie et le développement des appareils Morse en Europe. La réputation de l'inventeur est déjà si bien établie que les directeurs des services télégraphiques de différents pays, ainsi que plusieurs savants étrangers, lui rendent visite et le consultent fréquemment. De son côté, Hipp va présenter son propre télégraphe à Vienne, où il est question de le nommer directeur de l'atelier de construction des télégraphes, en 1845. Sa candidature est finalement écartée, car le bruit court, bien à tort, que cet inventeur, totalement étranger à la politique, fait partie d'un mouvement révolutionnaire. En réalité, Hipp a simplement rendu un petit service personnel à un homme politique de Reutlingen, or cette ville est considérée comme le centre de l'agitation démocratique en Allemagne du sud. Cela suffit à rendre Matthias Hipp suspect aux yeux de la police autrichienne.

A la même époque, Hipp fait à Londres la connaissance du célèbre physicien Wheatstone[▲]. Ce dernier est alors occupé à des expériences sur la vitesse de la lumière et de l'électricité, et constate à ce propos qu'on n'a pas encore trouvé le moyen de construire un axe faisant sans se détériorer mille tours par seconde. Hipp s'attaque à ce problème et le résout en découvrant que ce fait est dû aux vibrations de l'axe dans le palier et qu'il suffit, pour y remédier, de les amortir par l'emploi d'un intermédiaire élastique.

C'est aussi vers 1850 qu'on commence à introduire le télégraphe électrique dans la plupart des états européens, sous le patronage de Heisenlohr, Jacoby et Schönbein, qui connaissent déjà les travaux de Hipp. Ils attirent l'attention sur lui, de telle sorte qu'en 1852, il est chargé de l'organisation des télégraphes en Suisse et de la confection d'appareils pour d'autres états. Les appareils Morse de fabrication Hipp ont une grande réputation. Les commandes de l'étranger affluent. La Sardaigne, la Sicile, les Etats Pontificaux, puis le reste de l'Italie adopte ce système.

Hipp déploie une activité dévorante. Entre l'atelier, l'administration, les voyages et l'étude de nouveaux appareils, il ne recule devant aucun problème qu'on lui soumet et il entretient des relations avec tout ce qui porte un nom en Europe dans le domaine de la physique et de l'astronomie.

Cela ne l'empêche pas de faire de nombreuses communications à la Société des sciences naturelles à Berne, devant laquelle il présente au fur et à mesure ses nouveaux appareils ainsi que le perfectionnement d'anciens systèmes.

Exemples : le translateur (1853), l'horloge de contrôle télégraphique des chemins de fer (1854) ou la télégraphie simultanée en deux sens inverses (1855.)

[▲] Physicien britannique. (Gloucester 1802-Paris 1875) Il inventa le stéréoscope, un télégraphe électrique à cadran et un appareil de mesure des résistances électriques.

Non content de communiquer ses idées et ses expériences sur des questions d'ordre technique, il trouve des solutions originales et pratiques chaque fois que l'on fait appel à lui, en Suisse et à l'étranger. C'est ainsi qu'en 1856, il se rend à Turin pour construire trois métiers à tisser électriques de conception différente. Lors de la présentation de son travail, devant les représentants du ministère royal et les ambassadeurs de nombreuses puissances étrangères conviées à examiner de près ces nouveaux métiers électriques, Hipp interrompt le dessin de l'étoffe et fait apparaître l'inscription suivante sous les yeux émerveillés des assistants :

Al signor conte di Cavour
Presidente del Consiglio dei Ministri
Protettore dell'industria nazionale
La Società dell'Elettro-Tessitura-Bonelli
Appareil Hipp-Direttore Guillot
disegno del Cav. Capello.
D.D.D



Cette bande d'étoffe de soie rouge et argent est précieusement conservée, comme une relique, par une des descendantes neuchâteloises de l'inventeur.

En 1856, on pose dans le lac des Quatre-Cantons un câble en fil de fer enveloppé de gutta-percha, qui ne peut fonctionner par suite d'une isolation défectueuse. L'examen d'un fragment montre que la gutta est devenue cassante et s'est fendue. Hipp envoie un courant dans le câble pendant un certain temps, espérant que l'eau se décompose et oxyde le câble de façon à boucher les fissures. Le résultat confirme pleinement ses prévisions et, après trois opérations, le câble peut fonctionner.

Cette série de succès remportés en Suisse et à l'étranger éveille des jalousies qui valent à Hipp de sourdes animosités. Tandis que ses supérieurs hiérarchiques reprochent à ce fonctionnaire itinérant d'être trop rarement au bureau, d'autres lui en veulent d'exposer sous son nom des appareils construits dans les ateliers de Berne. Certains membres du Parlement fédéral s'émeuvent à l'idée de voir un atelier officiel réaliser des bénéfices substantiels, au lieu des déficits usuels, grâce à l'exportation des appareils de télégraphie suisses ! La pression devint si forte que les autorités fédérales se décident finalement à désétatiser un service officiel, jugé trop entreprenant et prospère, et à le vendre à l'industrie privée. Deux acquéreurs se présentent, Gustave-Adolphe Hasler, ancien assistant de Hipp à Berne et un ingénieur zurichois, M. Albert Escher, ancien directeur de la Monnaie fédérale à Berne. L'entreprise existe encore actuellement sous le nom de ascom. Cette opération, sans précédant dans les annales de l'administration, se révélera, avec le temps une excellente affaire pour les acquéreurs.

Quant à Matthias Hipp, lassé de certaines petites bureaucraties ou découragé peut-être par le fait que l'administration fédérale ne l'aie pas suivi dans l'adoption d'un type de récepteur Morse, il donne sa démission lorsque le Conseil fédéral prend la décision, en 1860, de séparer l'atelier de construction de la direction technique générale des télégraphes.

Suite à ces événements, il s'installe à Neuchâtel au mois d'août 1860. Au même moment, apparaissent les horloges électriques. Malheureusement, les premières que l'on construit



Horloge mère de la ville de Neuchâtel (1863)

fonctionnent si mal, qu'elles tombent complètement en discrédit. Hipp s'empare de la question et livre en 1861 à la ville de Genève, un régulateur destiné à servir d'horloge mère pour un réseau d'horloges électriques publiques. C'est une commande importante pour la jeune fabrique neuchâteloise. La réalisation est assez longue et laborieuse, par suite du caractère rudimentaire des dessins et primitif de l'outillage dont Hipp dispose. Si les horloges sont installées en 1863 et font l'admiration des badauds, elles seront encore sujettes à maints dérangements. Mais en 1880, le réseau de Genève ne compte pas moins de 67 horloges publiques. La mise au point de ce réseau ouvre à Hipp les portes d'un grand nombre de villes suisses et étrangères comme Bâle, Berne, Bienne, La Chaux-de-Fonds, Genève, Le Locle, Winterthur, Zurich, ainsi que Berlin, Bochum, Chemnitz, Cologne, Gênes, Heilbronn, Magdebourg, Milan, Nice, Stuttgart, etc.

Hipp entreprend également la construction d'un régulateur de précision. Alors que les pendules de construction traditionnelle subissent l'influence de l'épaississement des huiles par le froid et des variations de la pression atmosphérique, les horloges électriques sont plus spécialement affectées par la variation du courant, par l'oxydation des contacts, et par l'obligation de renouveler de temps en temps la source d'électricité. Tous ces inconvénients seront supprimés par Hipp.

Dans son système d'échappement électrique, l'une de ses plus belles inventions, l'impulsion n'est donnée au pendule que lorsque son amplitude est devenue insuffisante. On réalise ainsi une économie de courant et les variations de ce dernier n'ont plus d'influence sur la précision, car lorsque le courant diminue, les impulsions sont plus fréquentes et vice-versa. L'espace temporel qui sépare deux impulsions fournit en même temps une indication très simple de la force du courant, de sorte qu'on est averti du moment où la batterie est épuisée, et qu'on peut alors la changer sans modifier la marche de l'horloge. L'oxydation des contacts est évitée par le fait qu'au moment où le circuit est interrompu en un point, il est établi en même temps en un autre, de sorte que l'extra-courant provoqué par la rupture du contact trouve un autre chemin. Au bout d'une année, les contacts formés d'un alliage de platine et d'iridium, sont aussi propres qu'au commencement, soit après septante millions d'interruptions.

L'indication de l'heure se fait par une horloge secondaire dont l'aiguille de secondes est mue par un électro-aimant spécial qui reçoit des impulsions bipolaires générées par le pendule de l'horloge mère. Quant à l'élimination des variations barométriques, dont Hipp a fait une étude spéciale*, elle était relativement simple car une horloge qui n'a pas besoin d'être remontée et qui reçoit son énergie par l'entremise de deux fils minces, peut très facilement être fermée hermétiquement. Cette partie du problème présentait quelques difficultés, car les parois en laiton formant la cage laissaient passer l'air à travers leurs pores, malgré une épaisseur de 12mm. Hipp a résolu ce problème en employant des plaques laminées.

Le premier régulateur astronomique de ce type fut construit par Hipp en 1877 puis installé à l'observatoire de Neuchâtel quatre ans plus tard. Avec la collaboration de son ami Hirsch alors directeur de l'observatoire, il améliorera sans cesse la précision, la régularité et la construction de cette pendule pour arriver à éliminer ses plus petits défauts.

Pour l'ancien horloger-mécanicien devenu entre temps horloger-électricien, il était assez naturel de consacrer ses premiers efforts à l'horlogerie, dans le pays des horlogers par excellence. Une autre raison l'y poussait : l'étroite amitié scientifique et personnelle, qui l'unissait à un grand astronome, Adolphe Hirsch, directeur de l'observatoire de Neuchâtel. La collaboration entre ces deux hommes éminents se révélera étonnamment féconde et heureuse.

Au cours de l'année 1863, il inaugure avec Hirsch, la diffusion télégraphique de l'heure au départ de l'observatoire de Neuchâtel pour les principaux centres de fabrication horlogère en Suisse romande. Grâce aux nombreuses et longues expériences faites avec l'installation de ces réseaux, Matthias Hipp a trouvé, avec ses cadrans électriques, une solution parfaite pour la diffusion de l'heure, en bénéficiant de la précision astronomique que seul un observatoire est en mesure de garantir.

* Journal suisse d'horlogerie, II^{ème} année, page 85

Il y a chez Hipp, comme chez les grands inventeurs, ce grain de génie dont on ne fera jamais le tour. Un coup d'œil jeté sur la série des recherches et inventions de Hipp, à côté de ses découvertes et réalisations horlogères, suffit à convaincre. En 1861, il commence à déterminer à l'aide du chronoscope et du chronographe, en collaboration avec Hirsch, la vitesse de transmission des excitations nerveuses. L'année suivante, il cherche à transmettre la voix humaine à l'aide de lames vibrantes, mais il rencontre des difficultés qu'il juge momentanément insurmontables, sans aller jusqu'à prétendre le problème insoluble.

Vers 1865, il étudie les signaux de chemin de fer et la mise en position automatique des disques. Il remplace les dispositions purement mécaniques par un déclenchement électrique, avec une mise en position mécanique. A la même époque, son ami Bonelli de Turin fait appel à lui pour la mise au point d'un télégraphe imprimeur. Matthias Hipp a également construit un télégraphe autographe chimique destiné au Japon.

En 1877, il présente en séance publique de la Société des sciences naturelles de Neuchâtel un piano électrique construit pour l'Exposition Universelle de Paris, où il fut envoyé et très remarqué. Il s'agissait là d'un des premiers instruments de musique électromécaniques. Quelques années plus tard, Hipp construit un petit moteur électromagnétique (Fig. 5) avec armature en fer. C'est sans doute le premier de ce genre qui ait été fabriqué en Suisse et vraisemblablement dans le monde entier.

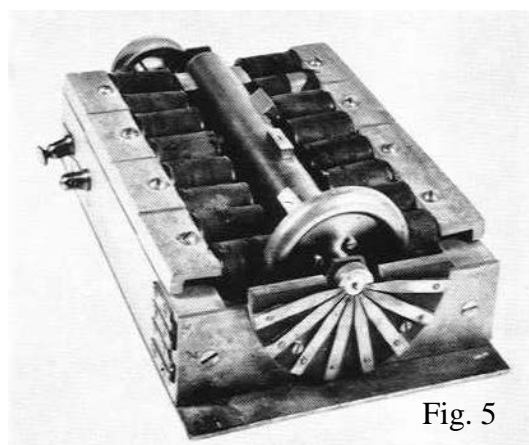


Fig. 5

Au cours de cette période particulièrement riche en essais et réalisations, Hipp présente le téléphone de Bell et fait breveter un microphone à contacts de platine. Il tente une des premières expériences de télédiffusion musicale à Neuchâtel, entre la fabrique des Terreaux et le théâtre de la ville. Pionnier de la lampe à arc et de l'éclairage électrique, dont il équipe ses ateliers, il poursuit infatigablement le rythme de ses inventions.

Peu après avoir envoyé une station météorologique à Vienne, en 1869, il entreprend, en 1870, un essai de construction d'un gyroscope électrique. Quatre ans plus tard Hipp envoie en Autriche un releveur perfectionné pour chronographe, permettant de relever très rapidement les intervalles de temps à 1 millième de seconde près.

Durant les années suivantes, Hipp construit différents appareils tels qu'un limnimètre[♦] pour le lac de Neuchâtel, installé dans la colonne météorologique de la place Pury, un enregistreur automatique du niveau d'eau pour les réservoirs des villes, un avertisseur d'incendie pour Bâle et Munich, un appareil de contrôle de la vitesse des trains (tachymètre), qui se répandra très rapidement, ainsi qu'un sismomètre en forme de pendule, indiquant la direction, l'intensité, le genre et le moment exact du commencement du tremblement de terre.

[♦] Appareil mesurant un niveau d'eau (lac, réservoir...)

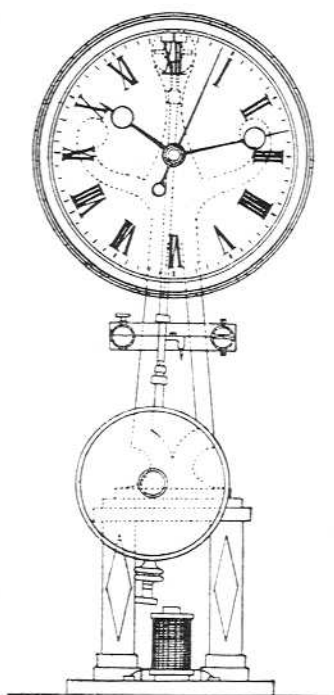
Ces appareils sont caractérisés par une exécution très soignée, une production industrielle plutôt faible et des frais de fabrications relativement élevés par rapport au prix de vente. Mais il a ouvert des tranchées, dans les domaines les plus divers. A ses successeurs reviendra le soin de les prolonger. Ce sera la l'œuvre et le mérite de Favag.

Hipp se démet de ses fonctions, le 15 février 1889 et les confie à ses successeurs, deux ingénieurs expérimentés, monsieur Albert Favarger qui fera autorité en matière d'horlogerie électrique ainsi que monsieur Peyer. La fabrique prend alors le nom de Peyer et Favarger. Sous leur direction, la production se poursuit et s'amplifie dans le domaine de l'électricité à courant faible, comme dans le champ de la mécanique de précision. La fabrique changera à différentes reprises de raison sociale. Devenue, en 1908, la Société Favarger et Cie, puis la Soc. An. Favarger et Cie en 1923, elle prend, en 1927, le nom de FAVAG S.A., Neuchâtel lorsque Favarger vend à la maison HASLER S.A., Berne. L'activité principale de l'usine de Neuchâtel est alors le bobinage. En 1988, FAVAG SA devient ASCOM FAVAG SA et en 1989, comme les activités du groupe sont essentiellement dans le domaine de la téléphonie, le secteur horloger de la maison est vendu à Moser Bär.

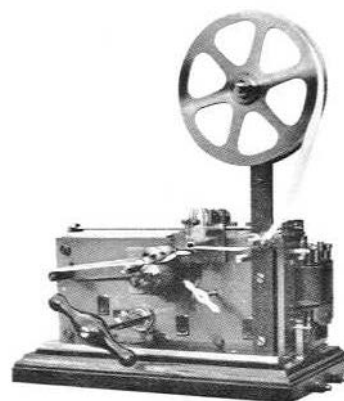
Une fois installée à Monruz, où la fabrique a été construite, entre 1929 et 1931, puis agrandie successivement en 1946 et 1958, FAVAG est entrée dans les voies des centrales téléphoniques et d'autres réalisations scientifiques de haute précision basées sur les solutions électroniques, qui ont assuré à cette maison neuchâteloise une réputation mondiale. Au cours des années 1960, FAVAG a célébré le 100^{ème} anniversaire de sa fondation, en rendant hommage à la mémoire de Matthias Hipp. Quelques jours après sa démission, il quitte Neuchâtel, qui a marqué l'apogée de sa carrière et se met en route pour Zurich. Il s'installera auprès de ses filles en compagnie de son épouse. Malgré ses ennuis de santé, Hipp continue à suivre les progrès incessants de l'électricité.

Il a reçu plusieurs premiers prix dans la plupart des grandes expositions de la seconde moitié du siècle passé, mais aucune distinction ne lui fait aussi plaisir que le diplôme de docteur « honoris causa », décerné le 28 juillet 1875 par l'Université de Zurich « pour ses grands mérites dans l'électrotechnique ainsi que dans la télégraphie suisse. »

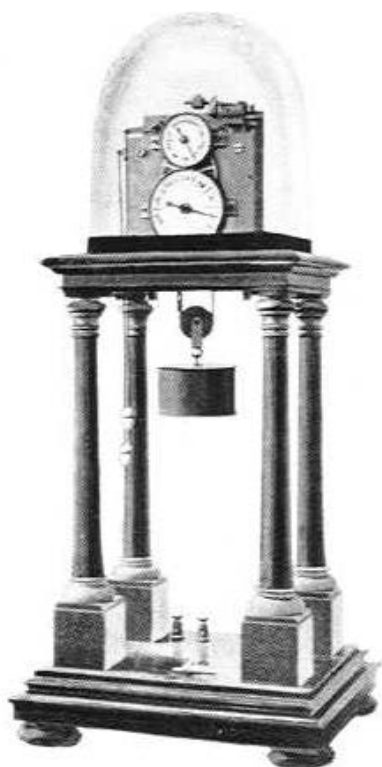
Au soir d'une vie riche en travaux, en difficultés et en succès, Mathias Hipp s'est éteint, le 3 mai 1893, à l'âge de 80 ans.



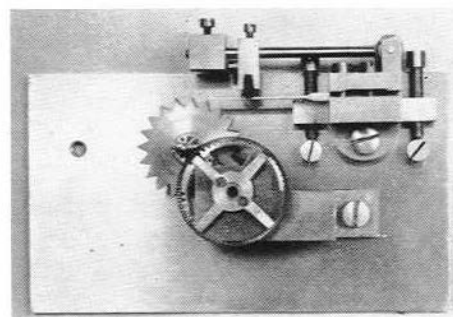
Horloge de Hipp munie d'un pendule battant la demi-seconde et d'un échappement à palettes



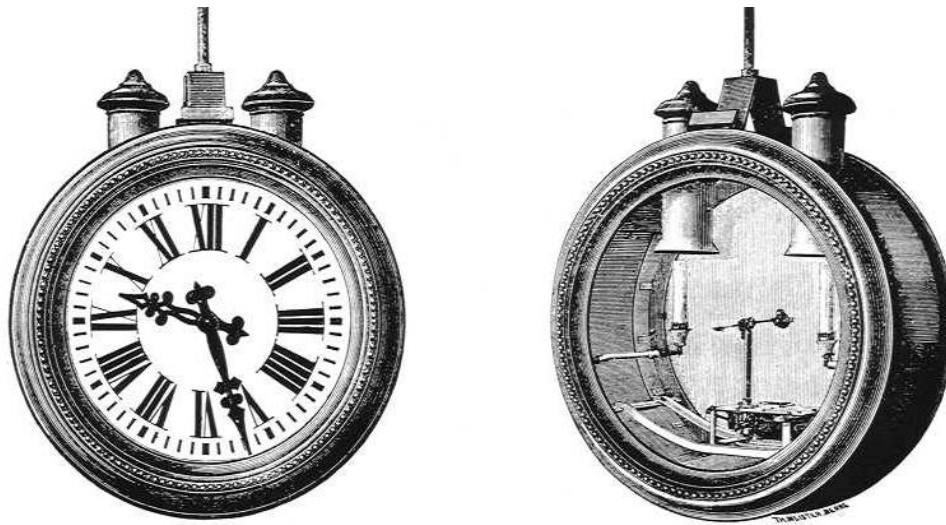
Chronographe enregistreur Favarger. Mouvement à ressort, échappement à lame vibrante, commande électromagnétique des styles.



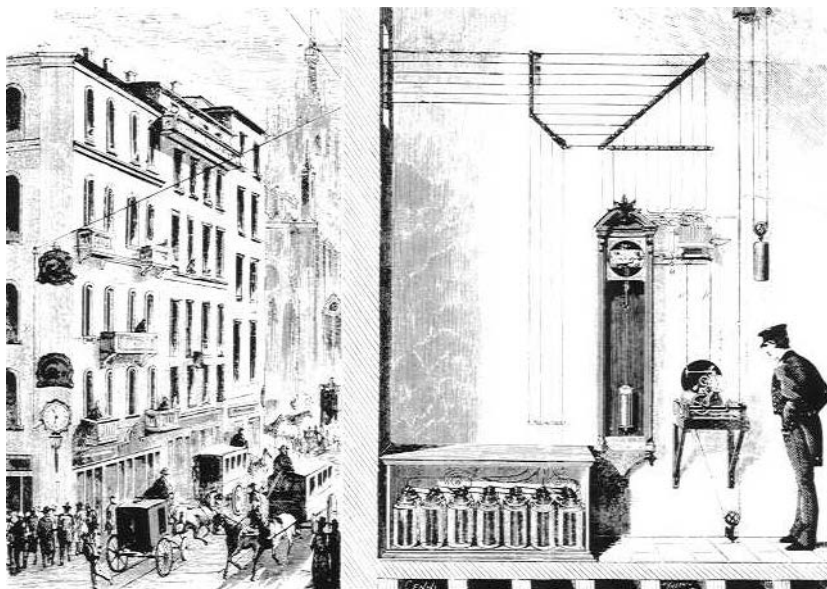
Chronoscope à poids avec échappement à lame vibrante



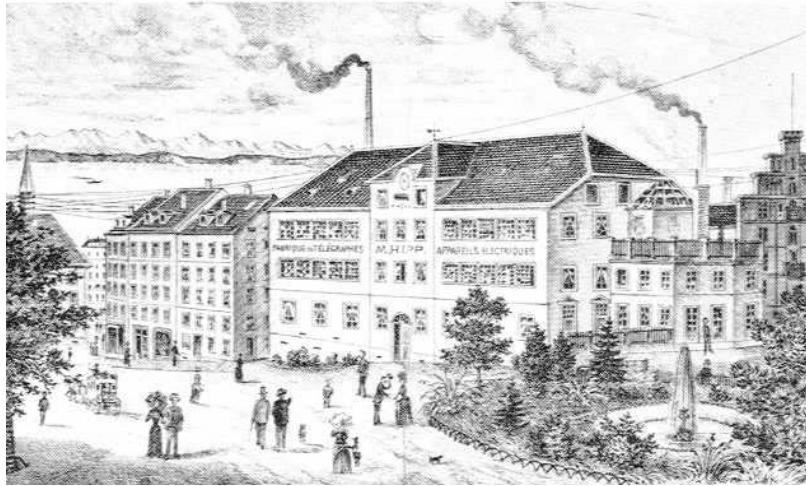
Echappement à lame vibrante (ancienne exécution)



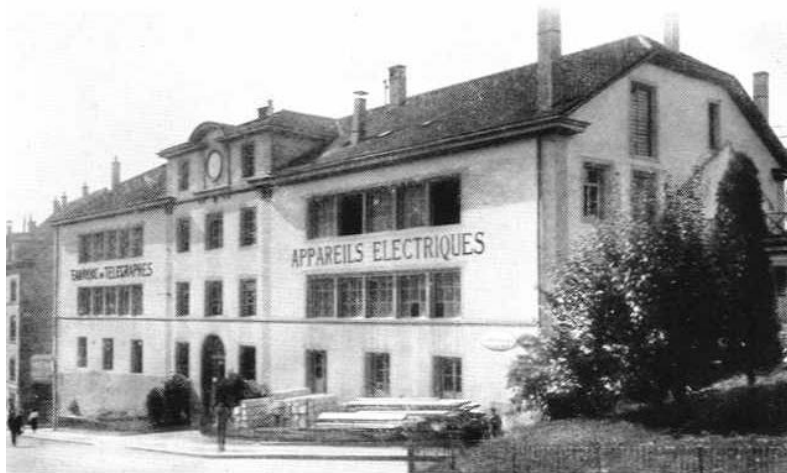
Horloge secondaire double face avec éclairage au gaz. Les aiguilles des deux cadrans sont commandées par un seul mouvement placé au bas de l'horloge au moyen d'un renvoi à engrenages coniques. Ce mode d'éclairage a dû être abandonné à cause de la condensation et de l'oxydation qu'elle entraînait.



Réseau d'horloges publiques de la ville de Milan (1875)



La fabrique de Télégraphes, rue des Terreaux 9, à Neuchâtel, vers 1875, d'après une gravure de l'époque. On distingue les lignes aériennes des réseaux télégraphiques et horaires.

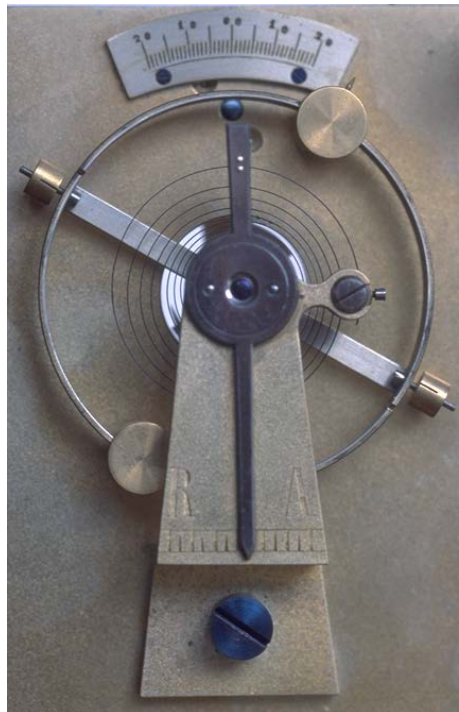
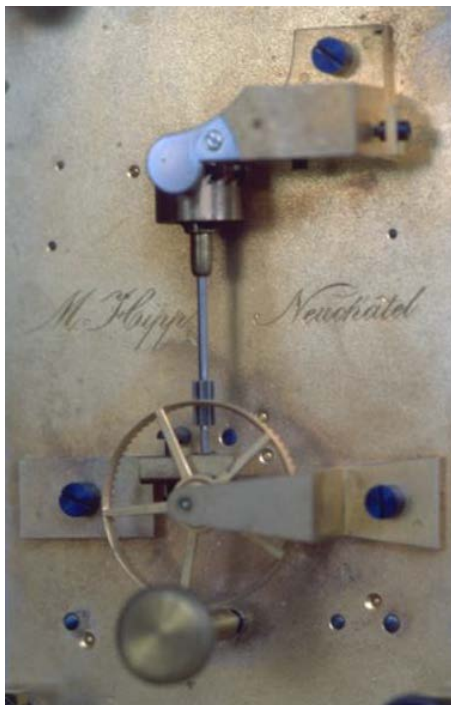


Le bâtiment de la fabrique dans les premières années de notre siècle



Le siège de FAVAG S.A. Neuchâtel, à Monruz, en 1960

Hipp a également fabriqué pour les écoles, des échappements de démonstration à roue de rencontre, à cylindre et à ancre.



2.2 REGULATEURS DE HIPPI ET DE SES SUCCESSIONS A L'OBSERVATOIRE DE NEUCHÂTEL

De 1877 à 1884, Mathias Hipp développa, pour l'observatoire de Neuchâtel, un régulateur astronomique de précision électrique dont le mouvement est maintenu sous pression constante. Il modifia son échappement électrique à palette et à contre palette de manière à pouvoir l'appliquer aux pendules d'observatoires. La figure 1 donne une vue d'ensemble de ce type de pendule telle qu'elle fut construite et exécutée la première fois pour l'observatoire de Neuchâtel et telle qu'elle figura à l'Exposition internationale de l'électricité de Paris en 1881.

Dès son arrivé à Neuchâtel en 1860, Mathias Hipp eut de bonnes relations avec A. Hirsch, directeur de l'observatoire de Neuchâtel à qui il fournissait du matériel et entretenait les régulateurs ainsi que différents instruments de physique. En 1863, il installa un réseau horaire à Neuchâtel dont l'horloge mère sera pilotée deux ans plus tard par l'observatoire afin de la maintenir exactement à l'heure.

Hipp vendit beaucoup de ses régulateurs en Europe, notamment en Espagne où, sur le Mulhacen, montagne de 3500 mètres au sud de l'Espagne, il fit installer un de ses régulateurs de précision pour déterminer la différence de longitude avec un point du continent africain. (l'Algérie)

En 1879, A. Hirsch demande à M. Hipp d'installer à l'observatoire une de ces nouvelles pendules électriques de précision identique à celles destinées à Madrid qu'il avait déjà observées et qui ont rendu d'excellents services dans la grande opération de longitude entre l'Espagne et l'Algérie.

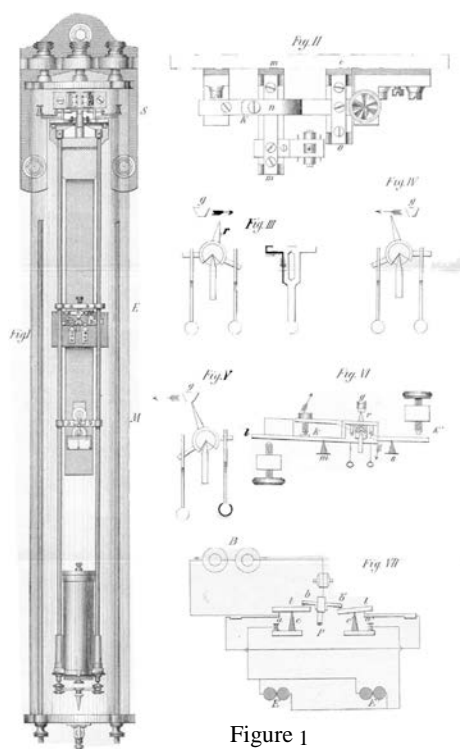


Figure 1

A. Hirsch : « La pendule Hipp fonctionne maintenant depuis un mois avec plein succès. Sa marche est aussi bonne que celle de nos meilleures pendules et elle permet de placer un compteur très commode à côté de l'instrument méridien, tout en laissant la pendule dans

la tour ou si on veut même à la cave, à une température très constante. Cette indépendance de la pendule permettra de la placer sous une cloche à pression constante, de façon à la soustraire aux influences des variations barométriques. Si l'essai d'une telle construction que M. Hipp est disposé à faire réussit, je demanderai au gouvernement d'acquiescer, pour l'observatoire une telle pendule électrique fonctionnant sous vide, qui nous servirait alors de pendule sidérale normale avec la même perfection que la pendule Winnerl a montré pendant les douze premières années de son service »

L'observatoire a servi pendant toute l'année la pendule électrique de Hipp pour l'enregistrement et pour l'observation à l'ouïe. Comme elle a montré une marche de plus en plus régulière et que Hipp a réussi parfaitement à mettre une pendule semblable sous une cloche à pression constante, le département de l'instruction publique a autorisé A. Hirsch, directeur de l'observatoire, à conclure la convention suivante avec Hipp, qui offre toutes les garanties et permettra de couvrir les frais sans demander pour le moment un crédit spécial. La pendule s'achève en ce moment et figurera d'abord à l'exposition électrique de Paris, avant d'être montée à l'observatoire

Voici la convention :

« Neuchâtel, le 30 décembre 1880.

Convention entre M. le Dr Hirsch, directeur de l'observatoire cantonal et M. le Dr Hipp, directeur de la fabrique des télégraphes à Neuchâtel.

L'observatoire cantonal commande à M. Hipp, la fourniture d'une pendule électrique, réglée au temps sidéral, avec compteur à secondes et destinée en même temps à l'enregistrement des secondes au chronographe. Elle sera construite essentiellement d'après le modèle de celle installée pour essai à l'observatoire depuis le commencement de 1880. Seulement, elle doit être placée en outre sous une cloche à pression constante.

La pendule doit remplir les conditions suivantes :

1° la variation diurne moyenne doit rester au-dessous de 0.08 seconde

2° la compensation (à mercure) doit être réglée de sorte que la variation pour 1° de température reste au-dessous de 0.02 seconde.

3° la pendule doit marcher au moins un an sans interruption et sans qu'on ait besoin d'y toucher.

4° la pression doit pouvoir être abaissée au moins à 200mm ; si la pression finale choisie est comprise entre 200mm et 400mm, elle doit rester constante dans les limites de 5mm par an ; si la pression adoptée est comprise entre 400mm et 600mm, elle doit rester constante, dans le courant d'une année à 2mm près.

5° l'appareil doit être installé à la fin de 1881 ; l'observatoire se décide sur l'acceptation définitive après un essai d'un an.

6° l'instrument comprend comme appareils auxiliaires :

a) Les piles nécessaires pour faire marcher la pendule et le compteur et pour enregistrer les secondes.

b) le même nombre d'éléments de rechange.

c) un manomètre et un thermomètre placés sous la cloche

7° le prix de la pendule avec tous les accessoires est de 2500 à 3000 francs. Il sera payé en trois annuités, dont la première sera versée lors de la signature du présent contrat ; la seconde, après l'installation de l'instrument, et la troisième, qui doit être la moitié du prix, après la réception définitive de l'instrument par l'observatoire. Si à la fin de l'épreuve, l'instrument ne satisfait pas aux conditions stipulées et que pour cette raison, elle était refusée par le directeur de l'observatoire, M. Hipp s'engage à restituer à l'état les versements reçus.

Fait à Neuchâtel, le 30 décembre 1880.

Pour l'observatoire cantonal,

le directeur,

(signé) « Dr Ad. Hirsch »

Pour la fabrique des télégraphes et appareils électriques,

le directeur,

(signé) « Dr M. Hipp. »

Vu et approuvé.

Neuchâtel, le 9 février 1881, pour valoir dès le 30 décembre 1880.

Le Conseil d'état,

chef du département de l'industrie publique,

(signé) « Dr A.-L. Roulet. »

La pendule ne sera livrée à l'observatoire qu'à la fin de l'année 1881 car elle est revenue passablement abîmée de l'exposition de Paris et le constructeur a éprouvé des difficultés à se procurer une cloche en verre pour remplacer celle qui avait été cassée lors du transport de Paris à Neuchâtel. L'épreuve qui, d'après le contrat doit durer toute une année, va commencer. Si la pendule remplit les conditions stipulées, elle donnera lieu à des recherches concernant l'influence des variations barométriques sur la marche des pendules.

Selon le rapport de 1882, les épreuves faites sur la pendule ne sont pas encore terminées. M. Hipp a d'abord modifié l'échappement en remplaçant la palette de bascule qui était en or par une autre en platine iridié afin d'améliorer la régularité de fonctionnement de l'échappement. Par contre, il n'a pas encore réussi à maintenir la pression assez constante.

Le constructeur ne désespère pas d'y arriver et va prochainement essayer d'autres moyens. Il est à noter que les lamelles des contacts de seconde, qui fonctionnent 25'000'000 fois par an peuvent continuer ainsi pendant plusieurs années et cela sans s'oxyder et sans avoir besoin d'être nettoyées, grâce au circuit de dérivation qui conduit l'extra-courant.

Hipp utilisait pour ces pendules des piles de la maison Maudinger car c'était selon lui les meilleures. Pour la petite histoire, Hipp n'aimait pas Maudinger car il ne montrait aucun intérêt pour l'horlogerie électrique et dénigrait les travaux de Hipp.

En 1884, le cycle annuel complet de la marche de la pendule a permis de déterminer une erreur de compensation de -0.03 secondes par degré centigrade. Pour la corriger, la cloche a été ouverte le 25 février et on a ajouté 53 grammes de mercure.

En outre, la variation totale du manomètre de 10.6mm ne provenait pas d'un défaut de fermeture de la cloche car les variations se faisaient dans les deux sens et étaient parallèles à la marche de la température. Ces variations provenaient des vapeurs d'eau qui s'étaient trouvées sous la cloche. Le problème a été résolu par le remplacement de l'air humide par de l'air desséché au moyen d'un appareil spécial. La pendule parfaitement réglée fut mise sous une pression de 75mm. Après quelques jours, on s'aperçu que la cloche ne fermait plus hermétiquement car le mastic entre le cylindre de verre et les bagues de laiton était fissuré. Le cylindre a été renvoyé à la fabrique des télégraphes mais malheureusement, en le chauffant afin de ramollir le mastic, il s'est cassé. Il a fallu attendre plusieurs semaines avant de pouvoir le remplacer par un nouveau fait en meilleur verre mieux refroidi.

A. Hirsch : « *Installé depuis peu, nous nous sommes occupés à le rendre aussi étanche que le premier. Lorsqu'on y sera parvenu, nous posséderons une des meilleurs pendules astronomiques, qui remplira toutes les exigences stipulées par le contrat.* »

Fait intéressant ; la marche de la pendule à pression constante montre une accélération régulière avec le temps qui atteint 1.66 seconde par an. Une semblable accélération a été observée sur un grand nombre de pendules astronomiques, chez lesquelles elle s'explique facilement par l'influence des huiles et la diminution graduelle de l'amplitude du pendule. Pour celle de M. Hipp qui n'a pas d'huile, l'arc d'oscillation est déterminé par la construction de l'échappement et on peut difficilement se rendre compte de ce phénomène. Des recherches ultérieures montreront si on peut expliquer, pour la pendule de Hipp, une modification lente de l'état moléculaire du ressort de suspension, comme on a essayé de l'expliquer pour les chronomètres en supposant une modification d'élasticité du spiral.

En 1885, afin d'ajouter les 570gr de mercure nécessaires pour ajuster la compensation, M. Hipp fabriquera un fût plus volumineux. On profitera de l'ouverture du cylindre pour contrôler l'échappement, le tranchant de la palette en platine iridiée était légèrement usé. M. Hipp la remplaça par une autre avec un alliage de 40% d'iridium au lieu de 30% et arrondi le fond de la contre palette pour diminuer l'usure de la palette.

Le problème d'une lente accélération cité dans le rapport de l'année précédente va être étudié par M. Hipp qui a consenti à rétablir à l'observatoire la première pendule électrique. Il expérimentera l'influence du passage d'un courant électrique dans le ressort de suspension dans un sens, dans l'autre sens, puis en déviant le courant par un fil spécial. Ces observations ne seront pas mentionnées dans les rapports de l'observatoire.

En 1886, M. Hirsch propose l'achat d'une deuxième pendule électrique du système Hipp dans laquelle le courant ne passerait pas par le ressort de suspension et dont la compensation serait mieux réglée à l'origine. **Cette proposition d'achat restera sans suite.**

Le 12 septembre 1887 lors d'une visite de l'observatoire, quelqu'un toucha par mégarde au commutateur de la pile du pendule et interrompit ainsi le courant. Ce fut la première interruption de la pendule.

Les observations de la pendule de Hipp se poursuivent et nous montrent une amélioration constante de sa marche de sa compensation et de son étanchéité. Sa variation diurne moyenne pour l'année 1887 est de ± 0.035 seconde et s'améliorera encore les années suivantes allant jusqu'à ± 0.019 seconde en 1890. Cette année-là, de petits changements plus ou moins périodiques, dans les limites de quelques dixièmes de seconde entre la marche diurne la plus forte et la plus faible apparaîtront sans qu'on ne puisse les expliquer. A. Hirsch : « *S'agirait-il par hasard, d'une influence encore inconnue des variations magnétiques sur la marche d'un pareil pendule ?* »

Quatre ans plus tard, la pendule de Hipp donne toujours entière satisfaction. Les quelques variations qu'elle a montrées peuvent s'expliquer par les travaux qui ont été effectués dans le voisinage de l'observatoire et qui ont nécessité des coups de mine.

En 1893, on apprendra la mort de Mathias Hipp.

Ses successeurs, MM Peyer et Favarger, ont établi en 1894, une nouvelle pendule électrique, système Hipp, mais pour laquelle M. Favarger a supprimé l'échappement en restituant la force au pendule par un très faible courant dont le contact est fermé par le compteur à chaque seconde pair. Cette pendule sera testée à l'observatoire et si les essais sont concluants, son acquisition sera envisagée.

En 1895, la pendule de Hipp fonctionne toujours correctement malgré les avaries dues aux tremblements de terre. Cependant, son extrême précision permettra d'étudier la cause de légères variations dans la marche qui sont indépendantes des changements atmosphériques et dont le caractère plus ou moins périodique permettra un jour de trouver la véritable cause, peut-être dans l'influence du magnétisme terrestre.

La pendule électrique de M. Favarger n'ayant pas encore donné un résultat satisfaisant, il faudra songer à l'achat d'une nouvelle pendule à poids, placée si possible sous pression constante. Le 5 avril 1897, M. Favarger a envoyé un courrier à M. Hirsch pour lui demander plus de temps et d'indulgence afin de terminer la mise au point de sa pendule qui avait déjà montré de bons résultats. La copie de cette lettre se trouve en page 9.

Entre 1897 et 1898, la pendule de Hipp continue sa marche exceptionnellement régulière bien qu'elle n'ait pas été nettoyée depuis cinq ans. On remarque toujours une variation de ± 0.1 seconde plus ou moins périodique (\sim tous les 14 jours) et de cause indéterminée.

En 1899, une petite fissure dans la gomme laque suite à des chaleurs excessives du mois d'août fait perdre son étanchéité à la pendule de Hipp. La cloche devant être rapatriée aux ateliers, on en profitera pour nettoyer les contacts et la palette (après 6 ans d'utilisation) et d'affiner encore le réglage. Depuis lors, la pendule de Hipp a fonctionné parfaitement mais cet incident montre qu'il serait temps de se doter d'une autre pendule astronomique capable de remplacer celle de Hipp également pour les enregistrements télégraphiques.

Les tentatives de faire construire une seconde pendule Hipp n'ayant pas donné de résultat satisfaisant, le choix sera dirigé vers le nouveau système d'horloge électrique, munie d'un pendule en acier nickel de M. David Perret, membre de la commission de l'observatoire.

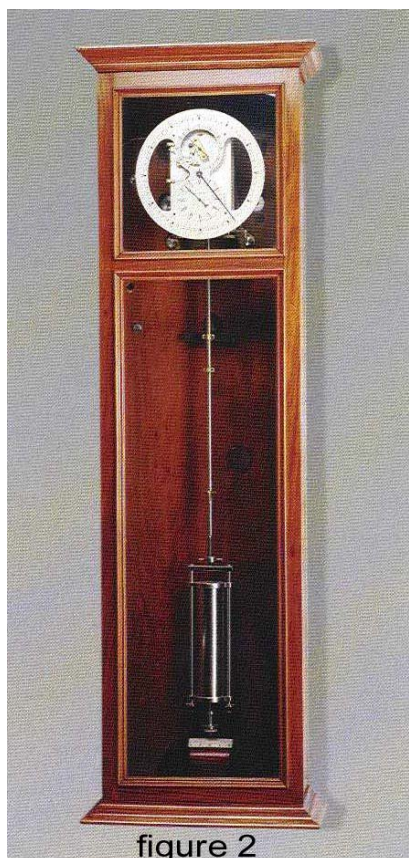


figure 2

En 1901, la pendule de Hipp marche remarquablement bien mais les changements brusques de sa marche se perpétuent sans qu'on puisse en trouver la raison. Pour éviter ces erreurs et pour mieux garantir l'exactitude des signaux, l'acquisition d'une nouvelle pendule était nécessaire. Pour cela, **l'observatoire se munira d'une nouvelle pendule astronomique à poids de Riffler à Munich. Grâce à l'exactitude de ce régulateur, il sera possible de vérifier si les inexactitudes de la pendule de Hipp sont dues à des effets extérieurs ou s'il faut chercher dans le mécanisme même.**

La pendule de David Perret (figure 2) remplacera celle de Shepard qui a servi à la transmission de l'heure pendant 40 ans.

D'après les expériences faites, il est intéressant de constater que les variations d'intensité du courant ne sont pas sans influence sur la marche de la pendule astronomique de Hipp. En revanche, les brusques changements constatés sur la marche des pendules de Riffler et de Hipp ne peuvent s'expliquer par une variation électrique ou mécanique. Il reste donc comme explication les trépidations du sol sur lesquelles seul un sismomètre pourrait nous fournir des données exactes. L'installation d'un tel appareil semble

indispensable pour l'organisation d'un concours annuel de pendules de précision.

En 1904, les observations des pendules continuent et marquent, pour la pendule de Hipp, de plus grands écarts de marche au début de l'année qui s'expliquent par une mauvaise isolation de son socle avec le mur auquel elle est fixée. Ce problème conduira à un projet de construction d'une nouvelle salle réservée aux pendules de précision qui finira par être abandonné. On construira un cabinet à doubles parois dans la salle d'observation des pendules afin d'y placer les pendule de Hipp et de Riffler qui seront moins sujettes aux changements de température.

La pendule de Hipp, après 9 ans de fonctionnement sans interruption, a dû être révisée ainsi que ses deux compteurs. Un troisième compteur a été ajouté, ce qui a considérablement modifié la marche de la pendule car pour ce faire, l'intensité du courant a été modifiée. Il sera décidé de ne lui brancher qu'un compteur afin de lui rendre sa précision habituelle.

Ce n'est qu'en 1915 qu'un local spécial est prévu pour l'installation des pendules de précision. La pendule de Hipp fut installée dans ce même local et dans le courant de l'année, divers essais furent faits afin de trouver un régime de courant idéal au fonctionnement des compteurs et de la pendule. Il a été remarqué que cette pendule est extrêmement sensible aux variations de l'intensité du courant électrique qui passe par les contacts à secondes. Un relais spécial de la construction Favarger et Cie a été installé dans le but de rendre la marche indépendante du nombre de compteurs en fonction. De plus les batteries alimentent de façon indépendante les bobines d'impulsion du balancier, le relais et les compteurs. La tension d'alimentation de l'ensemble est de 8 volts, le débit des batteries a été fixé par des résistances et l'extra-courant supprimé par des condensateurs de 1 et 2 microfarads.

Malgré toutes ces précautions, les marches de la pendule de Hipp ne sont pas restées constantes, elle a augmenté de plus d'une seconde pendant l'année 1916. En 1917, sa marche était très constante pendant de courtes périodes, mais d'une période à l'autre elle avait des écarts de plus d'un dixième de seconde.

Les relais mis en place précédemment ne fonctionnaient pas correctement car les contacts s'oxydaient trop rapidement sous l'influence des étincelles de l'extra-courant et faisaient perdre des minutes aux compteurs. En 1918, ces relais ont été remplacés par un relais pendulaire développé par la maison Favarger et Cie. Ce relais pendulaire est constitué par un balancier à tige de bois portant à son extrémité inférieure un poids cylindrique en zinc muni d'une armature de fer. Ce balancier oscille au-dessus d'un électro-aimant, qui lui donne toutes les deux secondes une faible impulsion. Deux paires de contacts sont disposés de chaque côté de la suspension pour entretenir les compteurs à seconde.

Le travail de l'Horloge Hipp est ainsi réduit à synchroniser ce relais pendulaire, travail qui ne demande qu'un très faible courant électrique. Cette nouvelle installation a provoqué, sur l'Horloge Hipp, une marche extrêmement régulière.

En 1919, la maison Favarger et Cie fait observer à l'observatoire une nouvelle pendule de sa construction qui paraît vouloir donner de bons résultats. Dans cette horloge, l'impulsion est donnée au pendule par un levier constituant un poids additionnel qui accompagne le pendule pendant un certain temps dans son oscillation. L'impulsion se produit toutes les deux secondes au moment le plus favorable, c'est-à-dire au moment où le pendule passe par la verticale et où il a sa plus grande vitesse. L'arc d'oscillation du pendule est extrêmement faible.

En 1920, la Pendule de Hipp a des variations de marche trop importantes pour qu'on puisse encore s'en servir. La cause de ses avaries est certainement due à l'extrême sensibilité aux différences d'intensité du courant qui passe par ses organes. L'horloge sera démontée et remplacée par l'horloge que la maison Favarger et Cie S. A. a fait observer à l'observatoire et qui a donné d'excellents résultats. Comme elle a les mêmes dimensions que la pendule de Hipp, elle sera placée dans le même tube de verre, ce qui réduira les frais. La maison Favarger et Cie fait observer une seconde horloge de sa construction, pareille à celle mentionnée plus haut.

En 1921, la pendule Hipp se trouve dans les ateliers de la maison Favarger et Cie pour être transformée. Elle servira dorénavant de pendule pour l'enregistrement des secondes sur le chronographe.

En 1925, les deux pendules marchant sous pression constante que la maison Favarger et Cie fait observer à l'observatoire, n'ont pas encore donné les résultats exigés pour une pendule de précision. L'acquisition d'une de ces horloges est donc renvoyée.

Après 1925, les rapports de l'observatoire ne contiennent plus d'information et ne parlent plus des régulateurs de Hipp et de ses successeurs.

2.3 PENDULE MERE PEYER ET FAVARGER A L'ECOLE D'HORLOGERIE DE LA CHAUX-DE-FONDS.

En 1887, l'école d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds devenait le siège du bureau communal d'observation des montres civiles. A cet effet, une pendule mère était installée dans un local du sous-sol et sa marche contrôlée chaque jour d'après le signal horaire transmis, par fil réservé, depuis l'observatoire chronométrique de Neuchâtel. Des compteurs électro-chronométriques, système Hipp, actionnés par la pendule mère distribuaient l'heure exacte dans plusieurs ateliers de l'école ainsi que dans le hall d'entrée à l'intention des horlogers et régleurs de la ville.



Dans son livre écrit en 1947 sur l'école d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds, Samuel Guye ne mentionne pas si la pendule mère en question était de fabrication Peyer et Favarger. Cependant, la fabrique Hipp prit le nom de Peyer et Favarger en 1889. Si la première pendule mère de l'école d'horlogerie avait été achetée à la maison Hipp en 1887, elle aurait porté la signature « Maison Hipp, Neuchâtel, Suisse » et non pas celle de « Ancienne maison Hipp, Peyer, Favarger et Cie, Neuchâtel, Suisse » comme celle dont nous disposons.

Dès 1905, le bureau communal d'observation des montres civiles de La Chaux-de-Fonds, devint, sous le nom de bureau officiel de contrôle de la marche des montres, un organe de l'institution des bureaux officiels de contrôle de la marche des montres, groupant les institutions similaires des villes de Bienne, Saint-Immier, Le Locle et La Chaux-de-Fonds.

En 1908, une pendule électrique à seconde est installée dans le local du sous-sol. Ce garde temps de haute précision placé dans un cylindre de verre sous pression constante actionne, par l'intermédiaire d'une horloge relais, des compteurs à seconde installés dans plusieurs ateliers. Il ne fait aucun doute qu'il s'agit là du régulateur signé « Peyer et Favarger, Neuchâtel, Suisse » qui est actuellement au MIH.

Pierre Girardet, ancien professeur de réglage à l'école d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds de 1955 à 1990, nous a confirmé l'existence d'une pendule mère Peyer et Favarger dont il avait la responsabilité et qui, selon ses souvenirs, a été utilisée comme horloge mère principale à l'école d'horlogerie jusqu'en 1953. Par la suite, il l'a maintenue en fonction par intérêts pour les élèves. Elle fut donnée au MIH lors de la construction des nouveaux locaux en 1974. C'est Charles Guyot qui s'était chargé de son transfert.

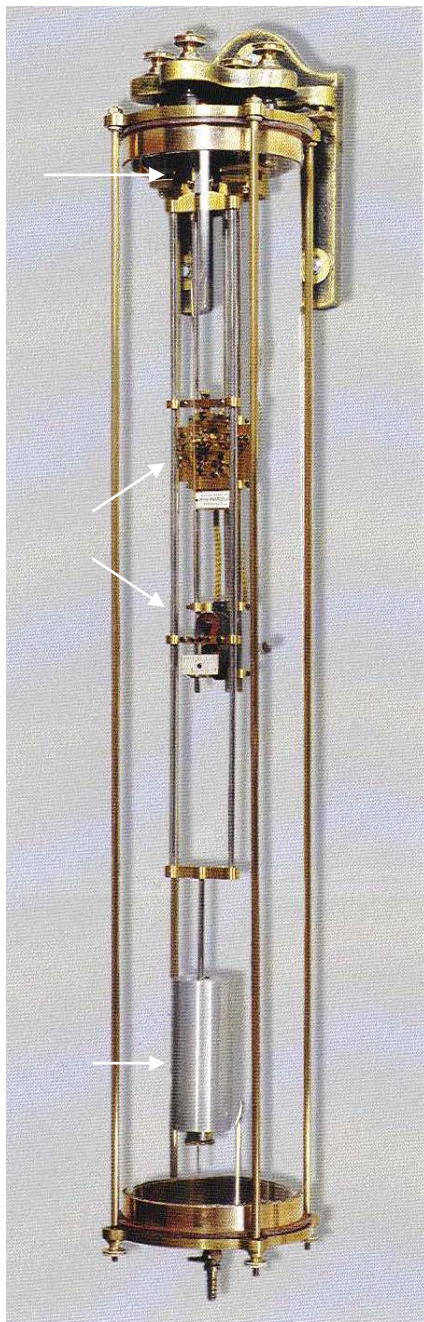
Claude Röthlisberger, employé au SAV puis dans le secteur commercial de la maison FAVAG, a lui aussi confirmé l'existence d'une pendule Peyer et Favarger sous vide d'air à l'école d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds.

Aujourd'hui, cette pendule est restaurée et exposée au Musée International d'Horlogerie de La Chaux-de-Fonds.

3 DESCRIPTION

3.1 L'HORLOGE MERE

Le sujet de ce rapport est une horloge mère électrique de précision signée « Ancienne maison Hipp, Peyer, Favarger & Cie, Neuchâtel (Suisse) »



Elle consiste en un balancier pendulaire battant la seconde dont le mouvement est entretenu selon le principe de Hipp et lance des impulsions à des compteurs électromagnétiques. Un grand cylindre en verre, à fermeture hermétique, enveloppe le mécanisme et le soustrait à l'influence des variations de densité de l'air atmosphérique. Le vide d'air permet d'opérer un dernier réglage fin.

Le balancier à deux tiges parallèles entre lesquelles on a disposé, dans un seul et même plan, tous les organes mobiles (palette, contre palette, leviers des contacts à secondes) pouvant influencer défavorablement la précision de l'instrument s'ils travaillent en porte-à-faux.

Ces organes sont : en haut, près de la suspension du pendule, les contacts à seconde actionnant à distance les compteurs électromagnétiques, au milieu, l'échappement électrique modifié de Hipp et l'électro-aimant avec son armature, enfin, le vase étain compensateur des variations de température.

Les branchements électriques de l'échappement, de l'appareil de contact et de l'horloge secondaire, sont assurés par quatre bornes en laiton disposées au-dessus du support principal de la pendule



3.2 L'HORLOGE SECONDAIRE

De forme cylindrique, elle porte un cadran en laiton argenté et trois aiguilles en acier bleu laquées. Les minutes sont indiquées par la grande aiguille placée au centre du cadran tandis que les indications des heures et les secondes sont données par deux petits cadrans excentrés respectivement à 12h et à 6h. La lunette et le cabinet sont en bois. Référence : IV 376



Il existe plusieurs modèles d'horloges secondaires. Certaines indiquent uniquement l'heure et la minute et d'autres, de plus petite dimension, étaient utilisées dans les ateliers de réglage et posées sur les établis.



4. TECHNIQUE

4.1 FONCTIONNEMENT DE LA PENDULE

L'échappement.

La pendule est munie de l'échappement électrique de Hipp, qu'il a inventé en 1843 et qu'il a transformé pour l'adapter à une pendule de précision. La palette qui fait bascule n'est plus suspendue mais dressée verticalement sur un demi-cylindre en pierre dure, dont l'axe repose sur un couteau en platine iridiée, ce qui permet à la palette d'osciller autour de la verticale fixée sur une traverse d'une pendule et qui consiste en une pierre fine (saphir, chrysolithe ou rubis) portant une coche.

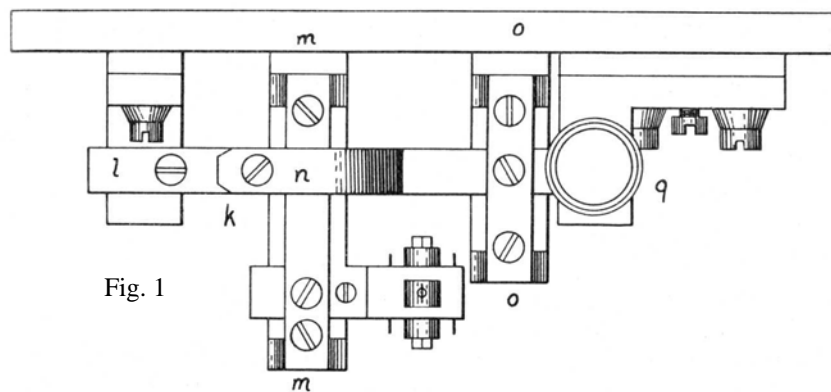


Fig. 1

Le jeu de l'échappement se comprend facilement par les figures 1, 2, 3 et 4.

Aussi longtemps que l'amplitude d'oscillation du pendule est assez grande pour que l'entaille de la contre palette g, menant la palette r à gauche et à droite, peut la dépasser, l'électricité reste hors jeux. Lorsque par la résistance de l'air, de la suspension et par le travail que le pendule fait en fermant les contacts de seconde, l'amplitude est diminuée jusqu'à une certaine limite (qui est de moins d'une minute d'arc plus faible que l'amplitude maximale), la contre palette ne passant plus, la palette se prends dans l'entaille de la première et s'arqueboute (voire fig. 4). Il en résulte que le levier l sur lequel est montée la palette r et qui repose sur le couteau m, est déprimé légèrement du côté droit et soulevé du côté gauche, où il ferme alors en k un contact, établissant le courant, lequel circule dans l'électro-aimant et attire l'armature en de fer doux placé sur une traverse du pendule, qui donne ainsi l'impulsion à celui-ci.

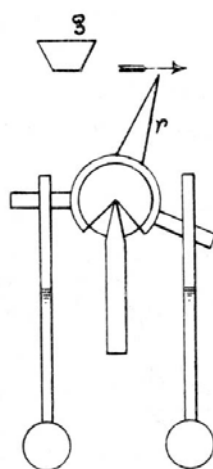


Fig. 2

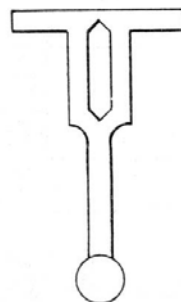
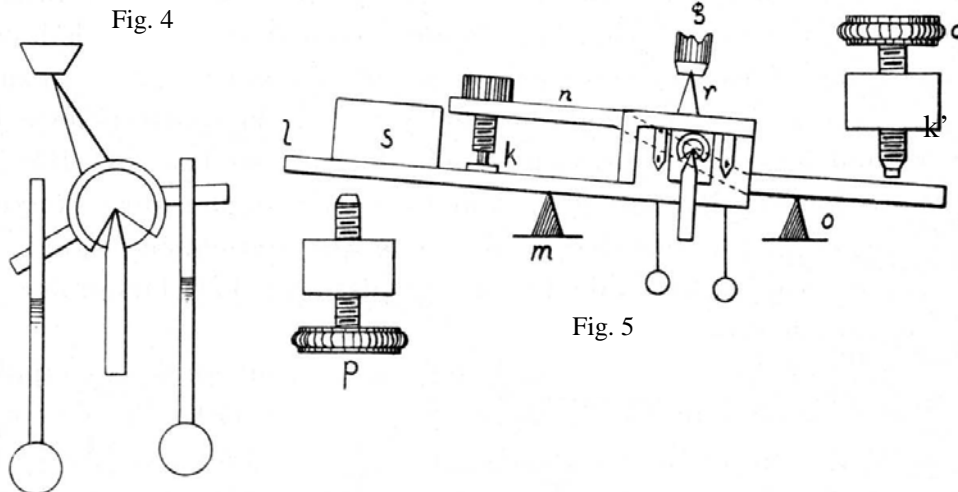


Fig. 3

On comprend, par ce montage, que l'électricité est mise en action et l'impulsion donnée au pendule seulement lorsqu'il faut rendre au pendule l'amplitude voulue qu'il a perdue peu à peu. Il est évident que lorsque l'intensité du courant qui donne l'impulsion est grande, celle-ci est plus forte et le pendule mettra plus longtemps pour revenir au minimum de son amplitude, moment où l'échappement est actionné afin d'établir le contact.

Par conséquent, les intervalles des impulsions consécutives sont plus longs. Si au contraire la



force du courant diminue, les intervalles deviennent plus courts. De ce fait, on utilise un minimum de force électrique ce qui permettait d'économiser la pile car à l'époque, il n'y avait pas d'autre moyen pour alimenter la pendule.

Si le constructeur a assuré ainsi à la marche de la pendule des conditions de durée et de constance extrêmement bonnes, il fallait encore éviter une autre cause de détérioration qui compromet d'ordinaire la durée et la constance des appareils de précision électriques, à savoir, l'oxydation des contacts, provenant des étincelles que produit l'extra courant au moment de l'interruption du courant primitif.

Hipp a obtenu ce résultat capital par un moyen simple et efficace. En ouvrant à l'extra-courant qui naît au moment de l'interruption du contact en k, un autre circuit qui se ferme au même moment en k' (voir fig. 5) et par lequel l'extra-courant est conduit, de sorte qu'il ne produit pas d'étincelle en k, on évite l'oxydation de ce contact. Dans la réalité, il reste une micro-étincelle. Pour l'éliminer complètement, il suffit de brancher une diode en parallèle entre les bobines.

L'appareil de contact (fig. 6)

Le pendule P, en oscillant de gauche à droite, vient alternativement s'appuyer avec les deux petits becs b et b' sur des lamelles en platine iridiée, l et l' montées sur les couteaux, également en platine iridiée, c et c'. En touchant et déprimant légèrement ces leviers, le pendule établit alternativement dans le sens inverse à gauche et à droite, les courants qui parcourent l'électro-aimant du compteur, y attirant l'ancre, et font mouvoir ainsi l'aiguille à seconde.

Les lamelles l et l', au moment d'être déprimées du côté du pendule, quittent les appuis a et a' du côté opposé, et réciproquement, au moment où les becs b et b' du pendule les quittent, elles retombent sur les points de soutien a et a'.

Ainsi, dans la figure 6, le pendule vient faire contact à droite, et le courant de la pile B passe

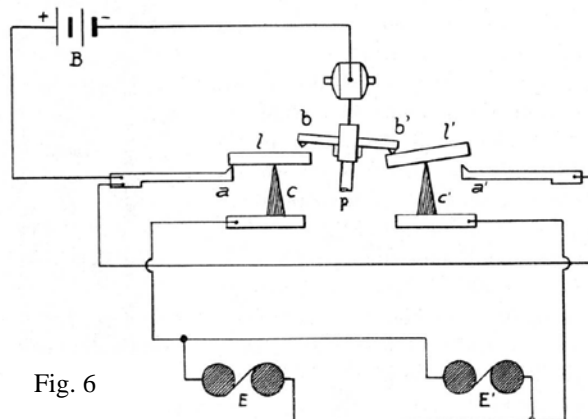


Fig. 6

par b', l', c', E', c, l, a, B. Au moment où le pendule quitte en b' la lamelle l', l'extra-courant qui prend naissance se trouve dérivé par le fait que, au même moment, la lamelle l' vient s'appuyer sur a'. Il en est de même de l'autre côté. De cette façon, toute étincelle est évitée et les contacts de seconde d'une pendule qui a été utilisée à l'observatoire de Neuchâtel pendant plus de quatre ans, ont fonctionné continuellement et régulièrement, sans jamais avoir été nettoyés. Or, en une année, un pendule fait 15'768'000 oscillations de chaque côté. Il est donc démontré qu'avec ce système, les mêmes contacts peuvent fonctionner plus de 70 millions de fois, sans subir une trop forte oxydation.

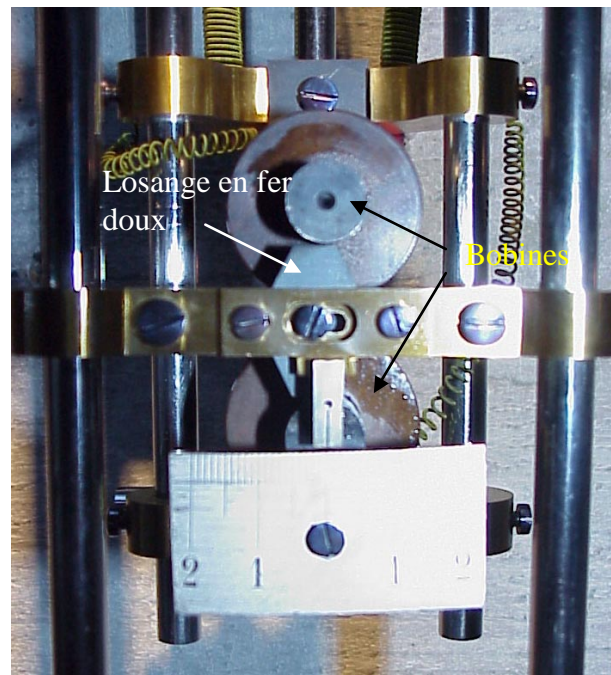
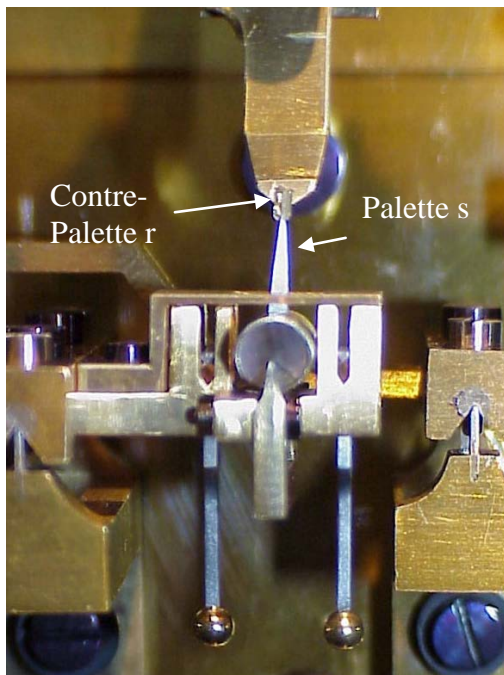
En revanche, au moment où b', relié à la borne négative de l'alimentation, quitte l', un court-circuit se produit car b' entre un court instant en contact avec a', relié à la borne positive par l'intermédiaire de l'. Cet inconvénient majeur qui se produit deux fois par seconde n'est pas signalé dans les rapports explicatifs concernant la pendule astronomique de Hipp. Il est facilement évité en branchant une résistance (ampoule) en série sur le fil qui alimente les compteurs qui absorbe l'énergie du court-circuit et évite la formation d'étincelles.

4.2 REGLAGES

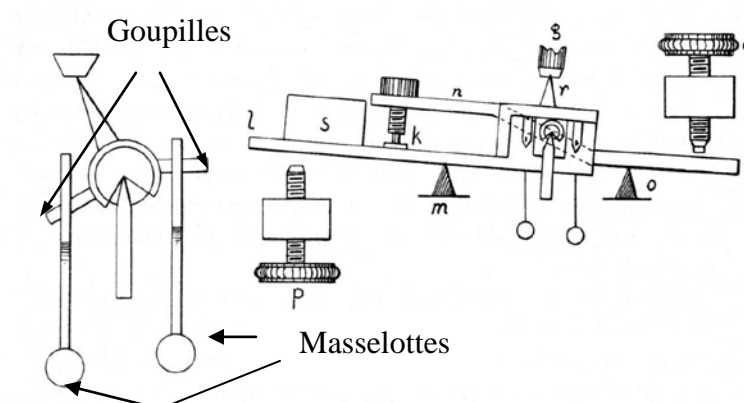
L'échappement est très sensible et nécessite une attention particulière.

Procédure de réglage :

Aligner la palette r et la contre-palette s lorsque le balancier est au point mort. Ensuite, décaler légèrement la contre-palette s d'un côté ou de l'autre. Ce décalage conduira la contre-palette à arc-bouter sur la palette inclinée toujours du même côté. Ceci est très important car, l'impulsion est donnée au balancier par l'attraction magnétique du losange en fer doux vers les bobines. Il doit donc être légèrement décentré par rapport aux bobines lors de l'impulsion, mais surtout, l'attirance magnétique des bobines doit cesser avant le passage du losange en fer doux par le milieu des bobines si on veut éviter que le balancier soit freiné.



L'amplitude du balancier dépend de l'angle formé par les deux goupilles fixées sur le corps de la palette r. Pour la réduire, il suffit d'ouvrir l'angle en pliant les goupilles. L'amplitude doit être la plus petite possible et sa valeur minimale est régie indirectement par la profondeur du sillon dans la contre-palette, le poids des masselottes et la durée de l'impulsion.



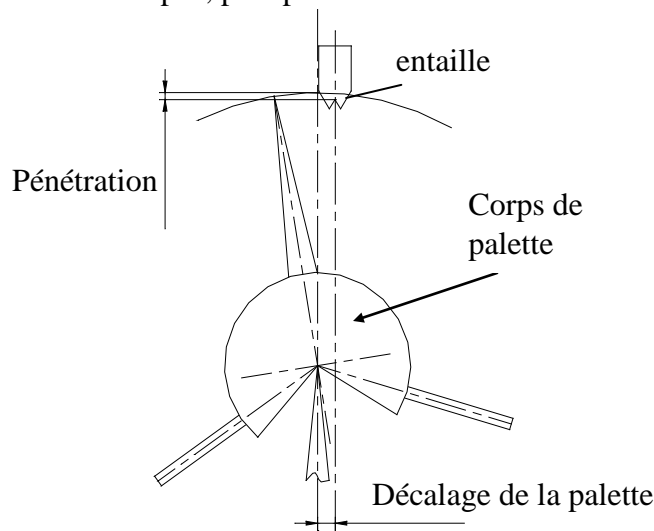
Influence de la profondeur de l'entaille sur l'impulsion : Si le contact établi par l'échappement est trop court, les bobines ne donnent pas une impulsion suffisante au balancier pour assurer l'entretien.

La durée du contact est régie par la pénétration de la palette dans l'entaille de la contre-palette. Si la pénétration est plus importante, la bascule pivotera d'une plus grande valeur et plus longtemps, ce qui se soldera par une impulsion plus longue.

Influence de la pénétration « palette contre palette » sur l'inertie du corps de la palette:

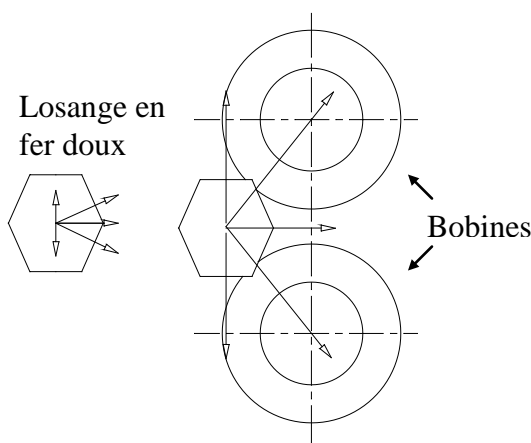
La contre-palette oscille d'un côté à l'autre de la palette. Lorsque qu'elles entrent en contact, la première entraîne la seconde et soulève, par l'intermédiaire d'une des deux goupilles fixées sur le corps de la palette, une des masselottes. Lorsqu'elle quitte la contre-palette, la palette est rappelée par la masselotte et est projetée de l'autre côté. Ce système permet à la palette d'être inclinée du bon côté lorsqu'elle entre en contact avec la contre-palette.

Si la pénétration entre les palettes est trop grande, le corps de la palette reçoit trop d'énergie par la masselotte et rebondit. De plus, si l'angle parcouru par la palette est plus faible, ce qui induit une diminution de l'amplitude, le corps de la palette rebondira plus facilement car il se trouvera, dans sa position de repos, plus proche de la verticale.



Il faut donc trouver le juste milieu entre donner une impulsion valable au balancier en fonction de la pénétration des palettes, avoir une fonction sûre du travail de bascule du corps de la palette et limiter au minimum la valeur de l'amplitude.

Dessin représentant les forces agissant sur le losange en fer doux

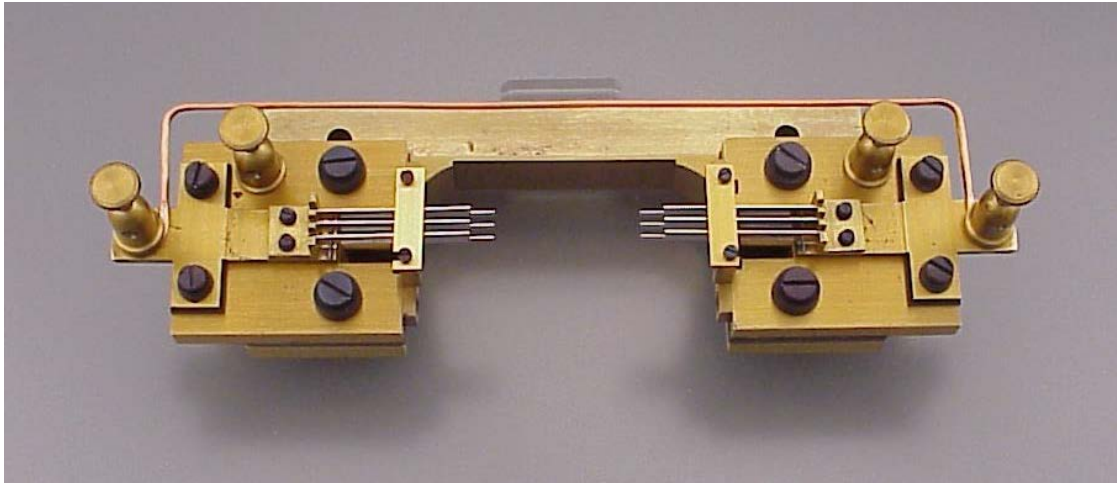


Sur les deux représentations du losange en fer doux, on peut voir les diagrammes des forces et constater que plus le losange est éloigné du centre des bobines plus les forces diminuent en revanche, elles se rapprochent de l'horizontale et donc sont plus efficaces.

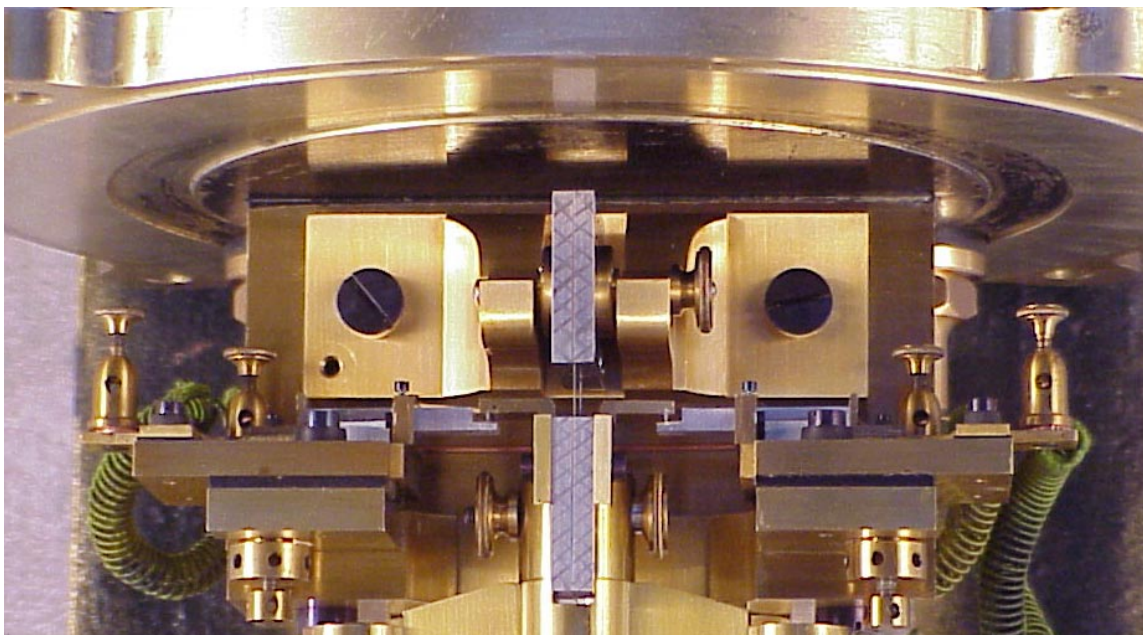
Malgré ce phénomène, l'impulsion est plus forte lorsque le losange se trouve tout près des bobines.

L'appareil de contact

Procédure de réglage :



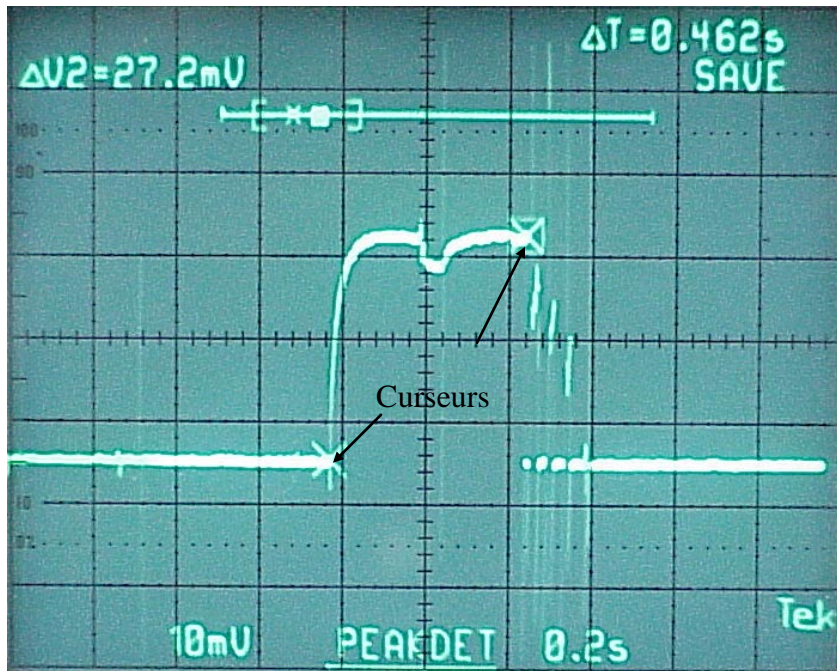
Les trois lamelles qui travaillent ensemble de chaque côté doivent être parfaitement alignées pour que les équerres fixées sur la suspension les touchent en même temps. Si cette condition n'est pas remplie, il se produit d'importants court-circuits car le contact est établi entre les deux points d'appuis des lamelles. Les quatre gros poulets de réglage qui se trouvent aux faîtes de la pendule sont utilisés à cet effet. Finalement, sur la partie supérieure de la suspension, se trouve une molette qui permet de maintenir le balancier dans une position définie par l'alignement des équerres sur les lamelles de contact.



La hauteur des lamelles doit être réglée de manière à permettre à l'horloge secondaire de recevoir une impulsion assez longue. On va progressivement monter les lamelles de chaque côté de la suspension à l'aide des vis de réglage jusqu'à l'obtention du bon fonctionnement du compteur puis on va régulariser l'émission des signaux pour qu'ils se produisent exactement chaque seconde.

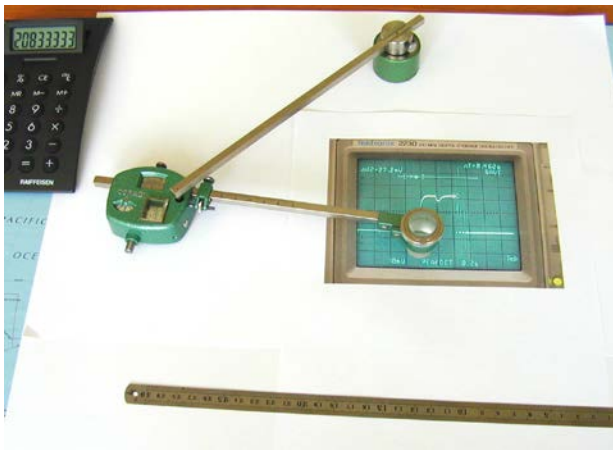
4.3 CALCUL DE LA CONSOMATION DE L'ÉCHAPPEMENT

Représentation sur un oscilloscope de l'impulsion provoquée par l'échappement.



Mesure de la surface :

A l'aide d'un planimètre, on mesure la surface en cm^2 de la représentation graphique d'une impulsion. Résultat : 7.6 cm^2



Base de la surface : 2.6 cm

Hauteur moyenne : $7.6 / 2.6 = 2.923 \text{ cm}$

La hauteur entre les deux curseurs est de 3 cm pour un courant de 13.6 mA ce qui nous donne une échelle de $13.6 / 3.0 = \underline{4.53 \text{ mA/cm}}$

En multipliant la hauteur moyenne par l'échelle on trouve la valeur du courant moyen de l'impulsion :

$I_{\text{moyen}} \text{ pendant l'impulsion} = 2,923 \times 4,53 = 13,24 \text{ mA.}$

Durée de l'impulsion : 0,462 sec.

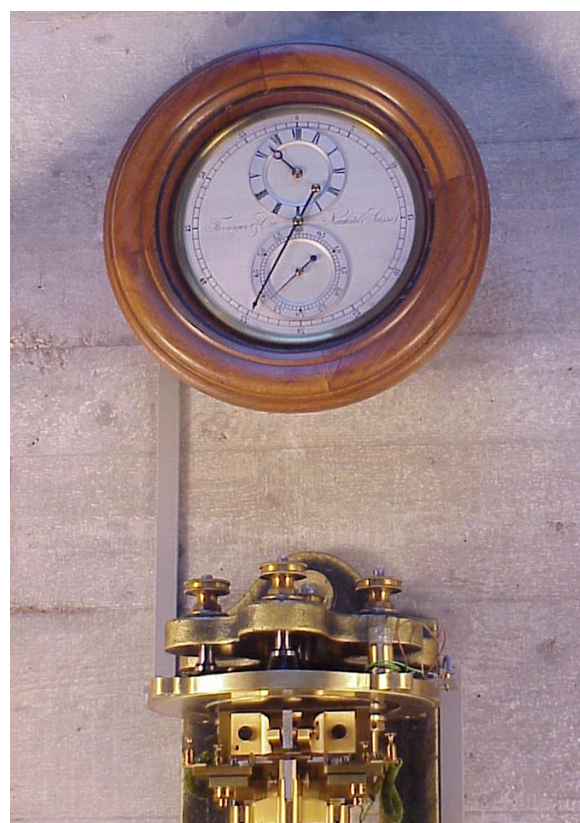
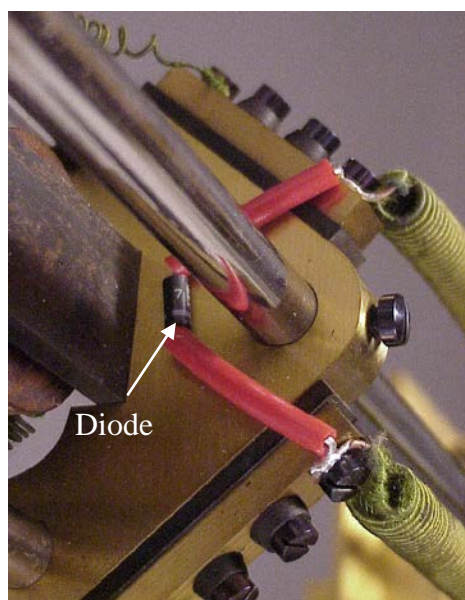
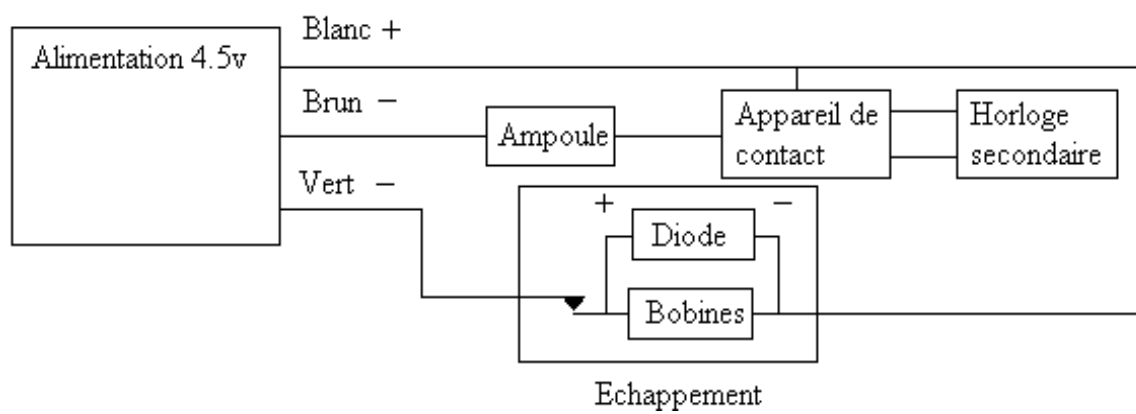
Pour calculer le courant moyen de l'entretien, en supposant qu'il y a une impulsion d'entretien toutes les 85 sec. :

$I_{\text{moyen de l'entretien}} = (13,24 \times 0,462) / 85 = 0,072 \text{ mA} = 72 \mu\text{A.}$

Energie consommée pendant une année par l'échappement :

$Q = I \times T = 0.0072 \times 365 \times 24 = \underline{630.5 \text{ mA} \times \text{h}}$

4.4 SCHEMA DES BRANCHEMENTS ELECTRIQUES



4.5 FONCTIONNEMENT DES HORLOGES SECONDAIRES

Dans cette horloge représentée par les figures 1 et 2, l'axe de l'aiguille des secondes porte une roue d'échappement a, dentée sur le côté en b et sur la périphérie en c.

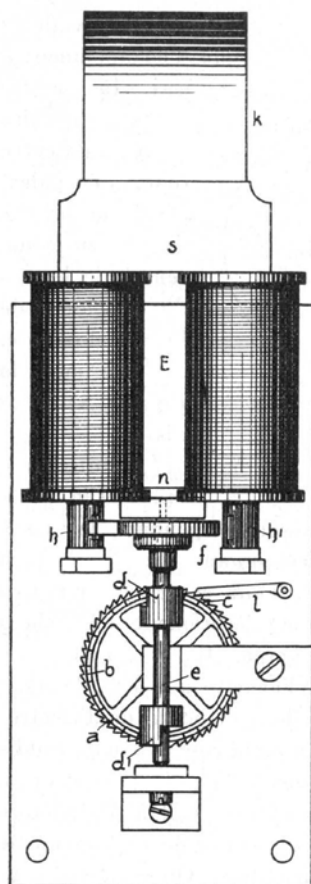


Fig. 1

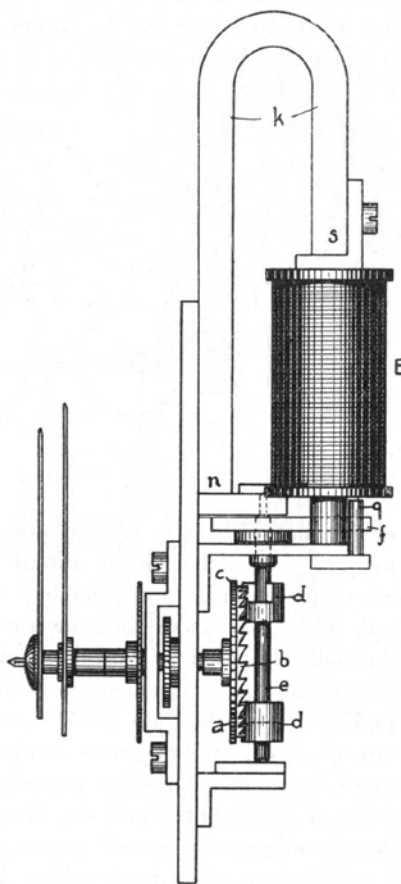


Fig. 2

Les dents b sont soumises aux impulsions alternées des deux palettes d et d' d'une même verge e et constitue avec celle-ci un échappement à roue de rencontre dans lequel seule, ladite verge e joue un rôle actif. L'axe de e, qui est le plus souvent vertical, porte l'armature f. Celle-ci, sous l'influence des courants alternatifs envoyés par l'horloge mère dans l'électro-aimant E, oscille entre les noyaux h et h' de ce dernier. A chacune des oscillations, dont l'amplitude est de 60°, l'une ou l'autre des deux palettes de la verge e fait tourner d'une demi-dent la roue d'échappement a. Celui-ci, ayant 30 dents du type b, fait donc un tour en une minute.

L'armature en fer doux f dont la figure 3 donne la forme exacte, est polarisée par l'extrémité n de l'aimant permanent k (fig. 1 et 2) qui, d'autre part influence par son pôle s les deux noyaux en fer doux h et h' de l'électro-aimant E. Ces noyaux attirent donc tous deux, et indifféremment, l'extrémité oscillante de l'armature f, aussi longtemps qu'aucun courant ne circule dans les bobines de E. Mais si un courant vient à exciter l'électro-aimant E, ce dernier deviendra, indépendamment de l'aimant permanent k, un fort aimant temporaire ayant aux deux extrémités h et h' de ses deux noyaux deux pôles de noms contraires. Le pôle qui a le même nom que celui de l'extrémité x

(fig. 3) de l'armature f, la repousse, l'autre l'attirera, et si la position initiale de cette armature est convenable, un mouvement aura lieu soit dans un sens, soit dans l'autre. Lorsque l'émission de courant qui vient d'agir, cesse d'exciter l'électro-aimant E, celui-ci retombe sous l'influence unique de l'aimant permanent k, l'extrémité libre de l'armature f reste appliquée contre le noyau de E qui l'a attiré tout à l'heure, et elle demeure dans cette position jusqu'à ce qu'une nouvelle émission de courant, de sens contraire à la précédente, vienne l'appliquée contre l'autre noyau, et ainsi de suite. Un cliquet de retient l (figure 1) travaille sur la périphérie à dents de rochet c de la roue d'échappement a qui à 60 dents et empêche un recul de cette roue. Les palettes de la verge e servent en même temps de leviers d'impulsion et de butoirs de sûreté. Il n'y a pas de ressort antagoniste.

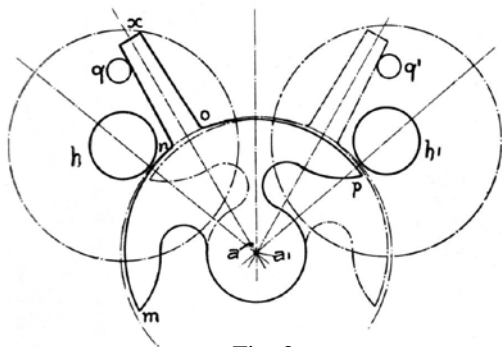


Fig. 3

dixièmes de millimètre, alors que l'entrefer ph' peut varier de 1 à deux voir même trois millimètres, selon la grandeur de l'armature. On comprend facilement que cette asymétrie des deux entrefers a pour effet de créer, au moment où le courant commence à exciter l'électro-aimant E, un couple qui conduit l'armature, avec une sûreté absolue, de sa position extrême de gauche à celle de droite et vice versa.

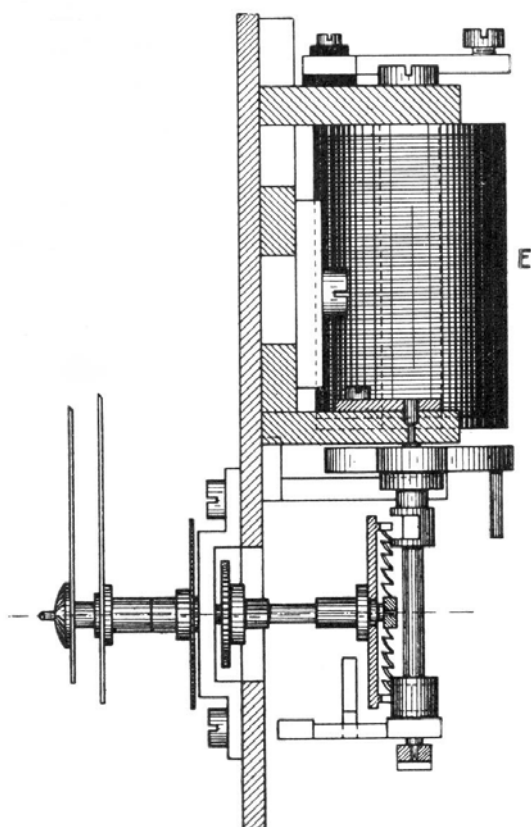


Fig. 4

La courbure $mnop$ (Fig. 3) de l'armature de Hipp joue un rôle essentiel pendant les deux mouvements d'aller et de retour de cet organe. Cette courbure est une portion d'arc de cercle qui a pour centre un point a du centre $a1$, représentant l'axe de la verge. Il résulte de cette excentricité $aa1$ que, dans la position de l'armature telle qu'elle est présentée dans la figure 3, le noyau de gauche h de l'électro-aimant E est très rapproché du point n de la courbe $mnop$, tandis que son point extrême p est relativement éloigné du noyau de droit h' .

Autrement dit, l'entrefer nh est de deux à quatre

Deux butoirs d'arrêt q et q' limitent la course de l'armature et par conséquent de la verge e (Fig. 2.) Chacun d'eux consiste en un petit cylindre vertical qui est rivé sur une patte horizontale fixée elle-même, au moyen d'une vis, sur l'extrémité du noyau correspondant de l'électro-aimant E (Fig. 1.) Ce petit cylindre qui est en laiton est creux et légèrement entaillé parallèlement à sa génératrice. Il est garni, à l'intérieur, d'un petit morceau de drap contre lequel vient buter le bras prismatique x de l'armature (Fig. 3.) L'arrêt de celle-ci se fait ainsi silencieusement et sans choc en retour perturbateur.

Chacune des palettes d et d' de la verge d'impulsion e consiste en un petit cylindre d'acier trempé qui est concentrique avec l'axe de cette verge (fig. 2) et qui est entaillé, en son milieu, jusqu'à la hauteur du plan vertical passant par cet axe. Les deux plans qui correspondent aux deux palettes et constituent les fonds de leurs entailles, font entre eux un angle de 45° (Fig. 5.)

Les figures 5 et 6, bien qu'elles s'appliquent à une autre forme de l'armature oscillante de Hipp, donnent cependant une juste idée du fonctionnement des palettes de la verge d'impulsion et de leur action sur la dent de la roue d'échappement.

Elles font voir comment ces deux palettes travaillent alternativement sur les deux dents de cette roue qui sont situées aux deux extrémités d'un même diamètre vertical. On voit en outre que les deux plans impulseurs sont disposés de telle manière par rapport aux pointes des dents b et a (fig. 1), que celles-ci ne sont atteintes et poussées que lorsque l'armature a déjà parcouru une partie assez considérable de sa course totale de 60° . Cette armature a ainsi le temps d'acquiescer à vide, c'est à dire, sans résistance mécanique notable, et sous la seule influence du couple électromagnétique moteur, toute sa force de propulsion. C'est à ce moment là seulement que la palette agissante atteint la dent correspondante et la fait avancer d'une demi dent en entraînant, d'une quantité proportionnelle, l'aiguille des secondes et la minuterie.

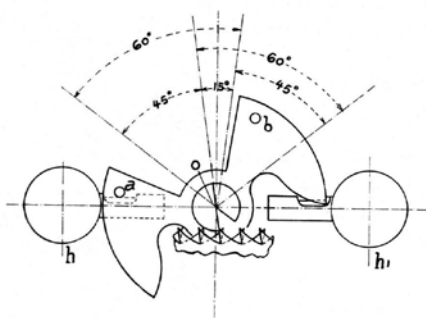


Fig. 5

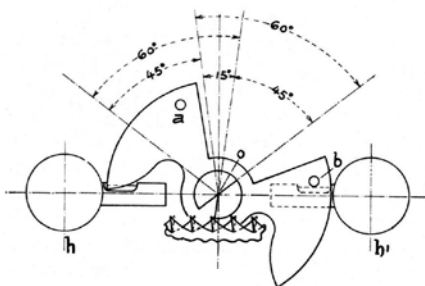


Fig. 6

verge, en sorte que pour l'une des positions de l'armature oscillante, c'est l'entrefer de l'aile gauche qui est petit et celui de l'aile droite qui est relativement grand, et vis versa pour l'autre position. Ainsi reste assuré l'existence de l'entrefer asymétrique, créateur du couple électromagnétique moteur.

Les cylindres feutrés fixes constituant les buttoirs d'arrêt de l'armature sont ici horizontaux et ce sont des goupilles verticales a et b placées aux endroits convenables sur la face supérieur de cette armature qui viennent, à la fin de chaque mouvement, buter contre les arrêts fixes. Les diverses observations déjà faites précédemment à propos de la première disposition de l'armature Hipp, en ce qui concerne le fonctionnement de la verge et de la roue d'échappement, sont ainsi applicables à la disposition perfectionnée des figures 5 et 6.

Les deux dispositions fournissent d'ailleurs des résultats pleinement satisfaisants, ainsi que le démontrent des milliers de compteurs du même système qui ont fonctionné durant des années dont quelques-uns uns sont encore employés aujourd'hui par exemple, à l'hôtel de ville du Noirmont, dans les Franches-Montagnes.

4.6 ESSAIS SUR LA PRESSION DE L'AIR

Il a été constaté que la marche d'une pendule est influencée par la densité plus ou moins grande de l'air dans lequel elle se meut. L'influence de ce phénomène est si faible qu'il faut déjà un régulateur de tout premier ordre pour le discerner.

Il arrive même qu'une pendule retarde sous l'influence d'une plus forte pression de l'air alors qu'une autre avance par suite de la même influence.

Les essais pratiques proposés pour compenser cette influence barométrique donnent des résultats mitigés.



Plusieurs astronomes ont soutenu que la variation de la densité de l'air n'influence pas directement la vitesse du pendule mais seulement son arc d'oscillation. Donc, ce n'est pas la densité variable de l'air qui cause l'accélération ou le ralentissement du pendule mais ces variations de marche sont dues à un effet secondaire qui est le changement de l'arc d'oscillation.



Cela expliquerait le fait que certaines pendules retardent pendant que d'autres avancent sous la même influence. Nous savons, grâce aux expériences ingénieuses de Winner et Longier, que le ressort de suspension, suivant sa longueur et son épaisseur, peut être combiné avec le poids de la lentille d'une pendule, de manière à produire l'isochronisme. L'échappement peut aussi produire un effet semblable.

En admettant ainsi que la pression de l'air influe sur l'arc d'oscillation et que cette influence peut expliquer la variation de marche d'une pendule, nous pouvons nous demander s'il est légitime d'en conclure que la densité de l'air n'exerce aucune autre influence que celle de faire varier l'étendue de l'arc d'oscillation, ou si la supposition est permise, que non seulement, la variation de l'amplitude, mais aussi la variation de la densité de l'air influence directement la vitesse, de sorte que les faits observés s'expliqueraient par la combinaison de ces deux influences.

Hipp a cherché à éclaircir cette question par des expérimentations. Nous savons que, dans l'air raréfié, un pendule ou balancier fait une oscillation plus grande que dans l'air dense. Si nous faisons marcher le pendule dans l'air raréfié puis dans l'air comprimé, nous aurions un moyen efficace de l'effet produit mais l'exécution d'une telle expérience offre trop de difficultés.

Selon ses expériences, Hipp pense que la résistance présentée par l'eau au mouvement d'un corps quelconque qui s'y meut, suit les mêmes lois que celle exercée par l'air sur un corps en mouvement. Comme la densité de l'eau dépasse d'environ 773 fois celle de l'air, il serait plus facile d'étudier l'influence de la densité du milieu ambiant sur la marche d'une pendule.

La difficulté de plonger le pendule tout entier dans l'eau peut être évitée en ne faisant marcher dans le liquide qu'une portion quelconque de ce pendule, dont l'immersion plus ou moins profonde produit juste l'effet désiré sur l'étendue de l'arque d'oscillation.

C'est d'après ce principe que Hipp a disposé le pendule de son régulateur qui se trouve à l'hôtel de ville et qui fait marcher les horloges électriques de la ville.

La pointe du balancier sera plongée plus ou moins profondément dans un récipient contenant de la glycérine et non de l'eau qui s'évaporerait et causerait une variation du niveau car l'expérience durera plusieurs semaines.

Les résultats furent tout autres que les suppositions de Hipp.

L'amplitude totale de l'arc décrit par le pendule du régulateur était dans l'air de $2^{\circ} 54'$ minutes. Ensuite, après avoir plongé la pointe dans la glycérine de $\frac{3}{4}$ de millimètre environ, l'amplitude d'oscillation a diminué jusqu'à $2^{\circ} 6'$, ce qui fait une différence de $48'$ d'arc. Lorsqu'il a essayé de plonger d'avantage la pointe dans la glycérine, le pendule s'est arrêté. La marche moyenne du régulateur avec la pointe dans la glycérine sur 8 jours indiquait un retard de 0.4sec/24heures et les 8 jours suivants, sans la glycérine, l'amplitude étant revenue à sa valeur primitive, le retard était de 0.24sec/24heures.

Hipp avoue être étonné par la faible influence sur la marche d'une pendule dont la pointe traîne dans une substance huileuse comme la glycérine.

Que peut-on maintenant conclure de cette expérience ?

Il semble en résulter que les différences de pression de l'air, telle que les variations d'un baromètre la comporte et qui est loin de produire sur l'amplitude d'un pendule un effet comparable à celui que nous venons de citer, ne saurait avoir sur la marche d'une pendule une influence assez importante pour engager les horlogers à corriger ce défaut par un moyen barométrique comme on a souvent essayé de le faire.

Si l'on admet, ce qui n'est pas encore prouvé, qu'un milieu plus ou moins dense sur le pendule, ne se traduit que par un changement de l'arque d'oscillation, tout procédé qui voudrait corrigé cette influence serait inutile, car le ressort de suspension, par un changement de sa longueur et de son épaisseur, peut corrigé un défaut beaucoup plus grand que celui occasionné par la hauteur du baromètre.

Tout en insistant sur le résultat de l'expérience citée, Hipp espère seulement contribuer à éclaircir la question et à provoquer d'autres recherches.

Lors de la poursuite de ses expériences, Hipp tentera, malgré les difficultés et des moyens laissant peut-être à désirer, de faire osciller un pendule dans l'eau. Il pense cependant être assez proche de la vérité car la différence des densités du milieu est énorme.

Il a employé pour ces expériences un pendule à demi seconde, à tige en acier de 4.5mm de diamètre, qui porte une lentille de 30mm d'épaisseur et de 110mm de diamètre. Le poids du pendule était de 1.55kg.

Naturellement, il ne fallait pas songer à entretenir le pendule au moyen d'un échappement quelconque qui n'aurait pas manqué d'influencer fortement la marche. Il fallait donc mesurer la durée d'une simple oscillation ou d'une série d'oscillations assez restreintes pour que l'amplitude ne varie pas trop.

Il ne fallait pas non plus employer la suspension à ressort pour éviter l'influence qu'elle aurait exercée dans les différentes amplitudes et dans les différents milieux. Hipp a donc employé la suspension à couteaux.

Un petit mécanisme interrompait et établissait un courant au commencement et à la fin d'une ou de plusieurs oscillations. Il était disposé de façon à laisser les oscillations libres pendant leur durée.

Le pendule oscillait dans un réservoir d'eau qu'on pouvait remplir ou vider à volonté, de sorte qu'il était facile de le faire marcher tantôt dans l'air, tantôt dans l'eau.

Enfin, les durées des oscillations étaient mesurées au moyen du chronoscope qui, comme on sait indique l'intervalle entre l'ouverture et la fermeture d'un courant. On faisait toujours une série de mesures dans le même milieu qui, entre elles, ne différaient pas en moyenne au-delà de 2 à 3 millièmes de seconde.

Cette incertitude de quelques millièmes de seconde par oscillation se traduit déjà par une incertitude de trois à quatre minutes sur la marche de 24 heures. Comme la différence que nous obtenions pour la marche suivant le milieu est de 100 millièmes environ, on voit que le résultat est exact à environ 1/30sec près.

Après bien des essais pour perfectionné l'installation et la méthode d'observation, Hipp a trouvé sur une moyenne de 70 observations, pour la durée d'une double oscillation dans l'air :

Avec une amplitude de 16° ,	1,01833sec ou un retard de 26'24''/24h
Avec une amplitude de 4° ,	1,01742sec ou un retard de 25'5''/24h

Il va sans dire qu'on aurait pu régler le pendule plus précisément si cela avait eu une importance quelconque. On remarque que le retard augmente avec les arcs, résultat conforme à ce qu'il fallait attendre.

Puis, sur la même durée mais avec le pendule dans l'eau, voici les résultats :

Avec une amplitude de 16° ,	1,08565sec ou un retard de 2h 30min 20sec/24h
Avec une amplitude de 4° ,	1,0859sec ou un retard de 2h 3min 42sec/24h

On voit ainsi que la marche du pendule dans l'eau retarde par rapport à la marche dans l'air :

Avec une amplitude de 16° ,	un retard de 1h 36min 56sec/24h
Avec une amplitude de 4° ,	un retard de 1h 38min 37sec/24h

Selon le second résultat, l'expérience a montré un retard de 5917 sec /24h pour un pendule oscillant dans l'eau, comparé à sa marche dans l'air.

On peut en déduire la variation de la marche pour une différence de 1mm dans la pression de l'air. Comme la pression moyenne à Neuchâtel est de 720mm et que l'eau est 773 fois plus dense que l'air, on obtient évidemment :

$$\frac{5919}{773} = \frac{720}{x} \Rightarrow x = \frac{5919}{773 \times 720} = 0.0106 \text{ sec/mm}$$

C'est à dire que la variation de la marche diurne de notre pendule serait de 0.0106sec par millimètre de pression barométrique

Cette valeur d'un centième de seconde comme effet d'une variation barométrique de 1mm sur la marche d'un pendule, s'accorde parfaitement avec les résultats qu'on a observés ailleurs.

Hipp tire la conclusion suivante de ces expériences :

Les variations de marche d'un pendule dues aux changements de la densité de l'air ne peuvent s'expliquer uniquement par la modification de l'amplitude dans un milieu plus dense. Il faut bien admettre une influence directe de la densité du milieu sur la vitesse du pendule et si l'on a constaté que tel pendule avance ou tel pendule retarde sous une pression plus forte, cela doit tenir à des influences secondaires provenant du ressort de suspension, de l'échappement, etc.

Il semble donc qu'il y a lieu de compenser cette variation barométrique par un procédé analogue à ceux qu'on emploie pour la compensation thermométrique. Seulement, il faudrait que ce moyen soit assez délicat pour ne pas altérer la marche du pendule.

Une autre étude a été faite en 1904, à La Chaux-de-Fonds, par Paul Ditisheim sur les effets de la pression de l'air sur les chronomètres.

Voici ses conclusions : La densité du milieu produit un double effet sur la marche d'un chronomètre. 1° on constate un retard quand la pression augmente

2° sur les pièces réglées avec une avance aux petits arcs, la pièce avance malgré les effets de la pression. Cela veut dire que le défaut d'isochronisme est plus important que l'influence de la pression de l'air.

La réduction de l'arc d'oscillation est due à deux effets combinés. Premièrement, à la résistance de l'air, c'est à dire au moment antagoniste développé par les particules d'air rencontrées par les saillies du balancier et deuxièmement par l'augmentation virtuelle de la masse du balancier qui entraîne les particules d'air avec lesquelles il se trouve en contact.

4.6 LES LAQUES OU VERNIS ANCIENS

Divers procédés et recettes sont utilisés pour recouvrir les pièces en laiton. Les pièces examinées témoignent de l'utilisation de différentes couleurs, du jaune clair au jaune rouge foncé, et l'épaisseur du vernis est très variable.



Les alliages de laiton, quelquefois de bronze, influencent aussi la couleur du vernis, de même que l'oxydation par le temps.

Dans certains ouvrages, on mentionne une patine artificielle qui est appliquée avant le vernis. Elle accentue la couleur dorée du laiton trop clair après polissage. Cette patine est obtenue par le mélange de 8 parties de carbonate de chaux

avec 1 partie de sulfure de sodium ou de soufre. La poudre ainsi mélangée est frottée à l'aide d'un chiffon de laine sur le laiton qui devient jaune doré, jaune foncé, brun et bleu. La difficulté est bien sûr d'arriver à une couleur uniforme, stable qui ne continue pas d'évoluer. Pour ce faire, il est suggéré de stabiliser la couleur obtenue par un passage rapide dans une solution de thiocyanate d'ammonium qui stoppe la progression de l'oxydation avant l'application du vernis.

Les anciennes recettes donnent un certain nombre d'ingrédients avec des dénominations populaires ou bien des produits que l'on ne trouve plus guère dans le commerce, notamment « le succin » qui est constitué de poudre d'ambre fossile, du « sang de dragon » qui est extrait d'une plante orientale.

L'élaboration d'une laque ancienne est un travail conséquent qui demande passablement de temps et de matériel. Les anciennes recettes indiquent imparfaitement les proportions du mélange. La notion de volume ou de poids n'est pas toujours clairement définie. Certains produits sont déjà incorporés à un solvant dans une proportion inconnue. L'état du produit n'est pas toujours mentionné (liquide, poudre, plaques, granulés, degré d'impureté, viscosité...) D'autre part, les laques demandent à être mélangées à chaud pour des raisons de solubilité d'où évaporation et modification du degré d'alcool.

Afin de rendre à certaines pièces très endommagées, leur aspect original, il est nécessaire de connaître le plus précisément la composition de l'ancienne laque et la façon dont elle a été appliquée.

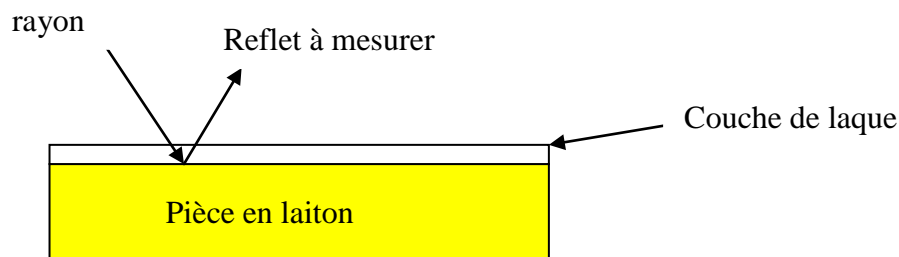
Jaime Wyss, collectionneur d'horloges électriques, nous a fourni les premières recettes de laques anciennes qu'il avait déjà expérimentés lui-même ainsi que quelques explications. J'ai également pris contact avec le musée d'art et d'histoire à Genève qui, il y a une vingtaine d'années, sous la responsabilité de Claude Houriet, auteur d'un rapport sur les vernis des instruments scientifiques avait fabriqué quelques échantillons de laque ou verni.

COMPOSITION

Stephane Wülfert, enseignant à l'école de restauration de Berne a effectué une spectrographie sur une partie de la pendule recouverte de son vernis d'origine afin de connaître plus exactement la composition de la laque.

Le système est le suivant :

On envoie un rayon à travers le verni et on mesure son reflet.



Le résultat de la mesure est imprimé sous forme de graphique que l'on compare avec les mesures étalon de différents produits de base qui composent les vernis. (gomme laque, mastique, sandarak...) On superpose les courbes et on recherche celle qui ressemble le plus au graphe de la mesure initiale. (voir le graphique à la page suivante)

L'analyse nous a montré que le verni appliqué sur les pendules de Peyer et Favarger se compose de plus de 95% de gomme laque. Le reste étant des colorants.

Une analyse plus approfondie pourra être faite par l'expert center de l'EPFL.

PRINCIPAUX INGREDIENTS

Leur identification n'est pas toujours facile.

Le colorant dragon's blood est appelé sang de dragon en français, il est extrait du fruit calamus draco provenant d'Asie (Est.)

Le gambodge est une résine de garcinia d'Inde, Ceylan, Siam, Appelé gomme gut en français.

Le curcuma est une plante qui vient d'Inde appelée ground turmeric en anglais.

La Shellac, d'origine orientale est appelé gomme laque en français

La gomme Sandarach, est appelée succin ou ambre fossile en français

Le Safran, le Rocou, le Santal rouge, le Mastic, le Copal, etc...

Les solvants mentionnés sont de l'alcool sous différentes dénominations

Alcool à brûler

Esprit de bois

Alcool éthylique

Et d'autres produits comme l'essence de térébenthine (with spirit) et autres dérivés, notamment la terpénaline.

Il est conseillé d'incorporer de l'acide borique pour durcir le vernis et améliorer l'adhérence au métal. L'élasticité variant par l'adjonction d'huile de lin.

Nous pouvons donc distinguer dans ces recettes deux composants bien définis :

Les colorants et les résines (qui peuvent aussi colorer) mais qui ont surtout comme fonction d'établir un film adhérent au métal d'une épaisseur et d'une dureté variable.

Cependant, les qualités des vernis obtenus par ces recettes sont très variables et les colorants encore d'avantage. C'est pourquoi le problème a été abordé différemment.

METHODE DE FABRICATION SUGGEREE

Préparation d'un vernis de base, d'une qualité appropriée, de teinte jaune neutre susceptible d'être coloré au dernier moment selon la teinte du modèle.

1° Préparation du vernis de base

La résine de base est la gomme laque blanche et le solvant de base de l'alcool industriel.

Dissoudre une certaine quantité de gomme laque dans l'alcool. Chauffer le récipient au moyen d'une plaque électrique munie d'un agitateur magnétique et d'un thermostat précis afin d'obtenir un sirop.



Filtrer sous vide en évitant l'évaporation. Un liquide trop sirupeux se filtre plus difficilement. Incorporer au mélange de l'acide cristallisé pur : 1/2 partie dans 100 parties de vernis.

2° Coloration

Préparer de même, séparément dans l'alcool :

Curcuma, sang de dragon, gomme gut, safran.



Un vernis de couleur moyenne est obtenu en dosant :

3 parties de sang de dragon

1 partie de curcuma

1 partie de gomme gut

1 partie de safran

La proportion de colorant par rapport au vernis est à déterminer empiriquement d'après un modèle. Les mélanges s'effectuent à chaud.

3° Préparation de la surface du laiton

Tirer les traits en long sur du papier de verre ou brosser à la laine d'acier extra fine la surface selon l'effet désiré. Dégraisser à la benzine puis à l'alcool.

4° Application du vernis

Selon la structure de la laque d'origine, on utilisera le pinceau, le tampon (légers sillons) ou l'application à l'air brush (brillant uniforme ou légèrement mat.)

Pour l'application à l'air brush, une faible viscosité est importante ainsi que le débit et la distance de la buse par rapport à l'objet. Trop loin, le vernis sèche en route et donne un aspect mat et irrégulier, un débit trop important occasionne des coulées. Il est préférable d'appliquer plusieurs couches plutôt qu'une seule pour obtenir une épaisseur.

Après avoir appliqué le vernis chauffer la pièce au four ou sur une chauffeuse à ~110° puis laisser refroidir. Si nécessaire, ajouter une seconde couche en passant assez rapidement pour éviter de diluer la première.

Pour l'application au pinceau, le vernis doit être sirupeux. Pour ralentir le séchage, on peut ajouter du toluène mais attention pour l'application à l'air brush car il est plus toxique que l'alcool.

Il est probable qu'un autre solvant que l'alcool ait été utilisé dans les vernis au 18ème et 19ème siècle car ces vernis résistent assez bien à une dissolution dans l'alcool. Nous ne savons pas lequel.

RECETTES EXPERIMENTEES

3dl d'alcool

40g de gomme laque extra blanche

8g de mastix

8g de sandarak

3g de gomme gut

3g de sang de dragon

2g de safran

0.7dl d'alcool

35g de gomme laque extra blanche

30g de gomme laque foncée

1g de gomme gut

1.5g de sang de dragon

0.7g de safran

0.7g de curcuma

3dl d'alcool

60g de gomme laque extra blanche

7g de gomme gut

11g de sang de dragon

2g de safran

2dl d'alcool

60g de gomme laque extra blanche

6g de gomme gut

3g de sang de dragon

2g de safran

2.5dl d'alcool

30g de gomme laque extra blanche

25g de gomme laque foncée

6g de gomme gut

3g de sang de dragon

2g de safran

2 oz ground turmeric

3 drams gambodge

7 oz poudered gum sandarach

1.5 oz shellac

2 pints spirit of wine

augmented by 1/8 pint of turpentine
varnish

1/3 gomme laque

1/3 gomme gut

1/3 sang de dragon

solvant : alcool à brûler

5. RESTAURATION

5.1 L'ÉCHAPPEMENT

Différentes modifications ont eu lieu durant les années de service de la pendule à l'école technique de La Chaux-de-Fonds et ceci dans le but d'améliorer sa précision.

Elles sont d'une qualité inférieure à la construction de l'ensemble de la pendule et ne permettent pas un fonctionnement régulier de l'échappement.

Le premier travail a été de définir la forme initiale de l'échappement d'après des dessins retrouvés dans la littérature et la pendule appartenant à Ian Richardson. Ces bases ont permis sa reconstruction.

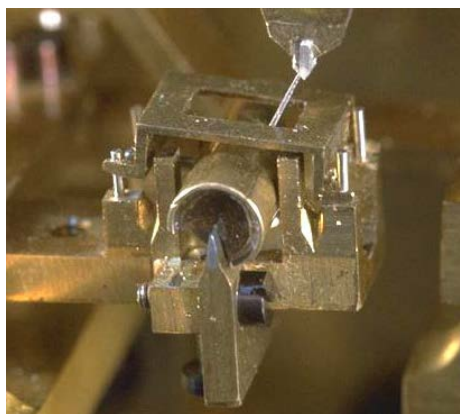


Fig. 1

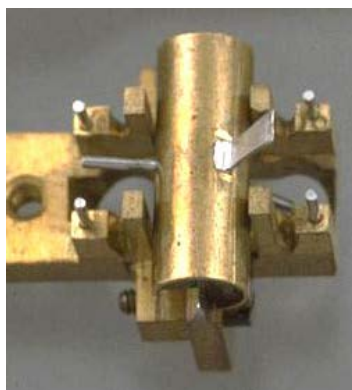
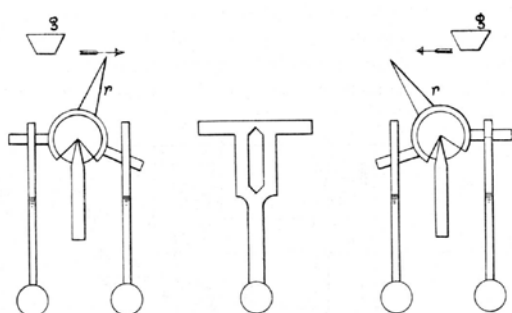


Fig. 2

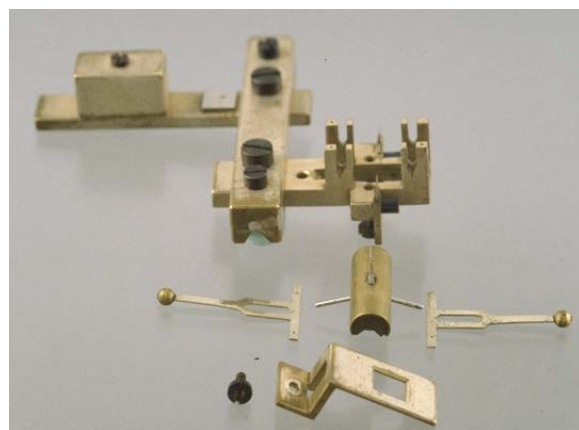


Fig. 3

Les figures 1, 2 et 3 représentent l'échappement avant la restauration.



Représentation de l'échappement à palettes pour régulateur de précision de Mathias Hipp.



Vue éclatée de l'échappement de la pendule astronomique signée Peyer et Favarger appartenant à Ian Richardson.

Les figures 4 et 5 représentent l'échappement après la restauration.

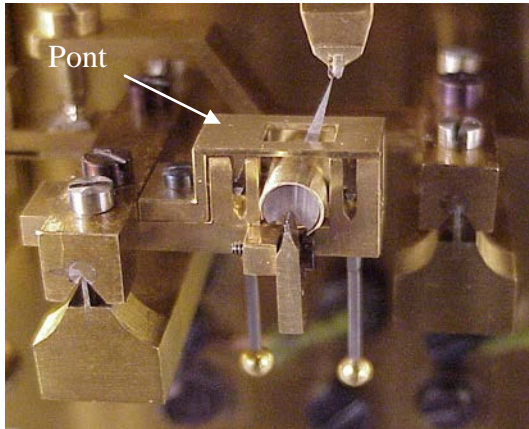


Fig. 4

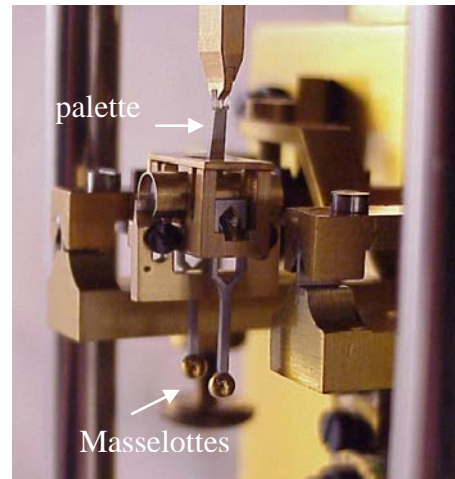


Fig. 5

Les pièces refaites sont : Le pont de maintien de la palette, la palette, la vis de fixation du pont et les deux masselottes.

Suppression des étincelles sur le contact k de l'échappement.

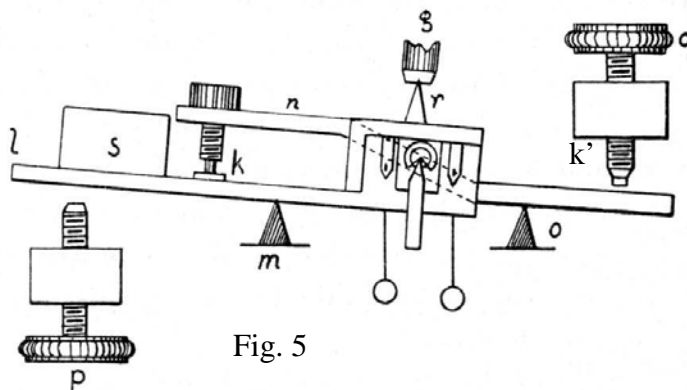
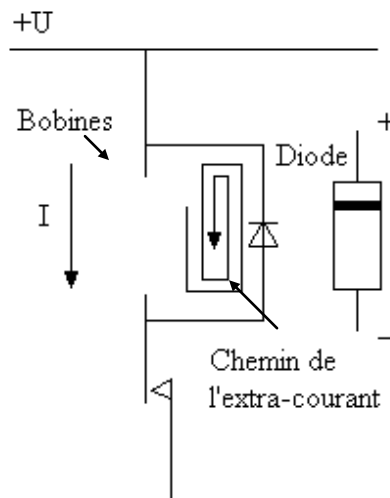


Fig. 5

Hipp avait résolu le problème en ouvrant à l'extra-courant qui naît au moment de l'interruption en k, un autre circuit qui se ferme au même moment en k' (voir fig. 5) et par lequel l'extra-courant est conduit, de sorte qu'il ne produit pas d'étincelle en k, on évite ainsi l'oxydation de ce contact.

En plaçant une diode en parallèle entre les bobines, on annule complètement l'étincelle lors de l'ouverture du contact en k et ceci sans consommer d'électricité ! (fig. 6)

L'extra-courant produit au moment de l'ouverture du contact se dissipe en passant dans la diode plusieurs fois.



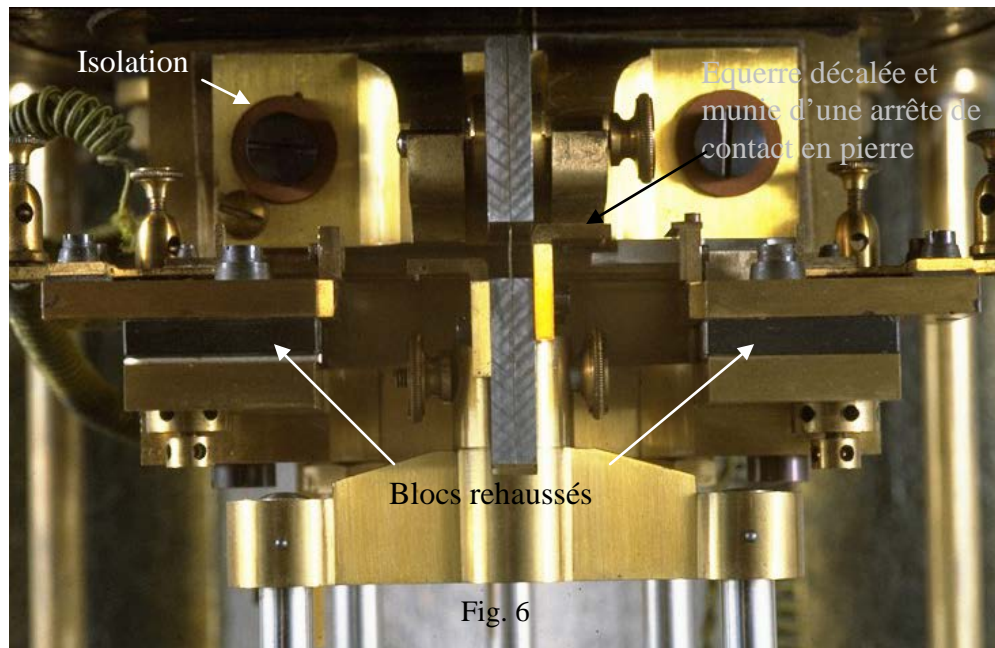
5.2 L'APPAREIL DE CONTACT

Le principe de fonctionnement a été modifié.

Tout le bloc était rehausser de 4cm, les équerres fixées sur la suspension étaient décalées et l'arrêt de contact en platine iridiée de celle de droit remplacée par une arrêt en pierre de façon à annuler le contact.

La pièce en laiton qui supporte le balancier par l'intermédiaire de la suspension était isolée de la masse et une vis était ajoutée pour fixer le pôle négatif.

Ces modifications étaient faites dans le but d'améliorer la marche des horloges secondaires. Malheureusement ce travail n'est pas de bonne qualité.



Travail de restauration°:

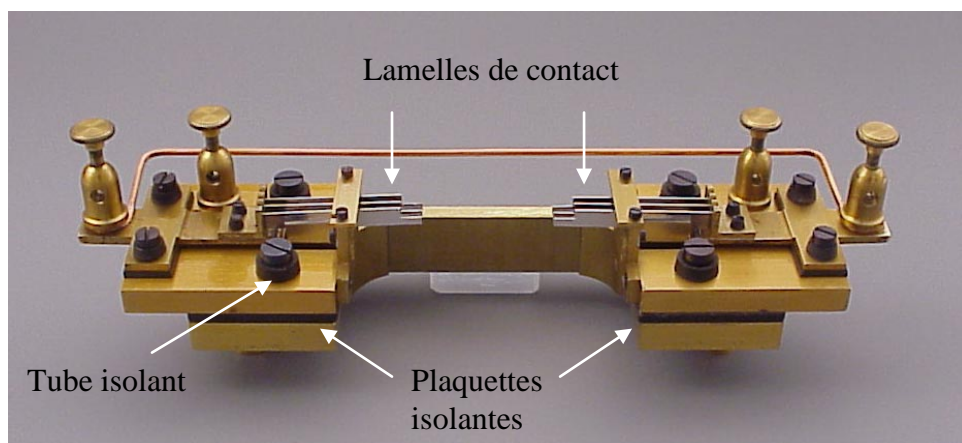
redimensionner les blocs rehaussés représentés sur la figure 6

refaire la plaquette de maintien des lamelles de contact de gauche ainsi que ses vis

ajuster les lamelles de contact afin que les équerres appuient d'un côté puis de l'autre, sur les trois lamelles en même temps et le plus précisément possible

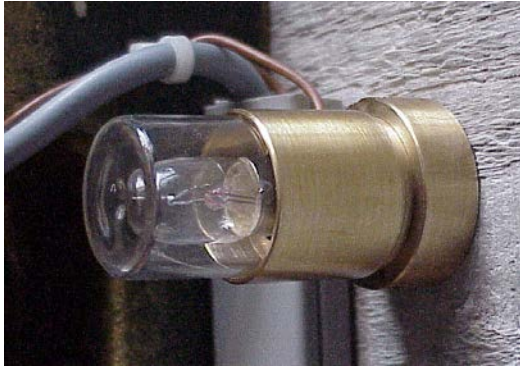
adoucir et bleuir toute les vis.

Refaire 2 tubes isolants pour les vis



5.3 LE SUPPORT DE L'AMPOULE

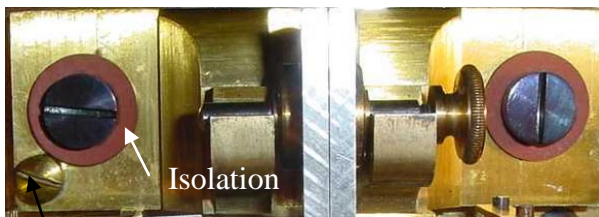
Fabrication d'un support pour brancher une ampoule en série sur le fil d'arrivée du courant de l'appareil de contacts.



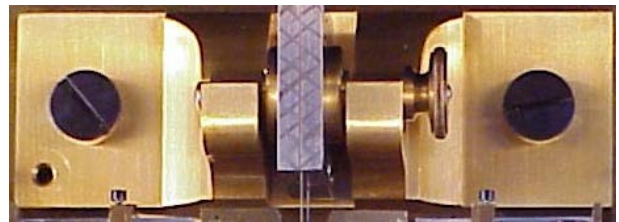
5.4 LE SUPPORT DE SUSPENSION

Travail de restauration :

- enlever toutes les parties isolantes et remplacer les tubes de guidage des vis qui étaient en plastique par des tubes en laiton.
- Enlever l'ancien vernis et l'oxydation pour appliquer une nouvelle couche.



Vis de fixation du pôle négatif

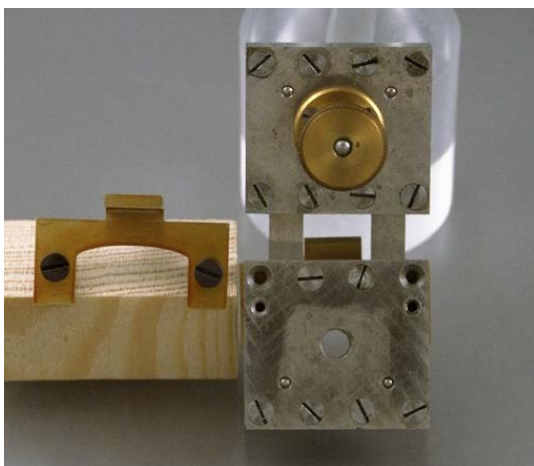


Support restauré

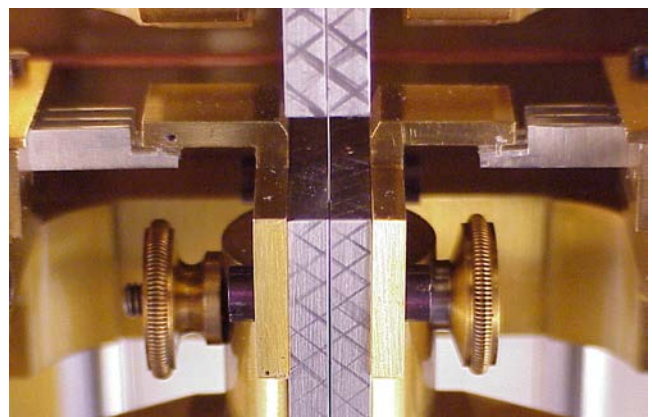
5.5 LA SUSPENSION

Travail de restauration°:

- positionner correctement l'équerre et poser une arrête de contact en argent
- refaire 2 vis
- adoucir les vis et les plaques de la suspension
- refaire les deux ressorts



Non restaurée



Restaurée

5.6 LE SUPPORT PRICIPAL

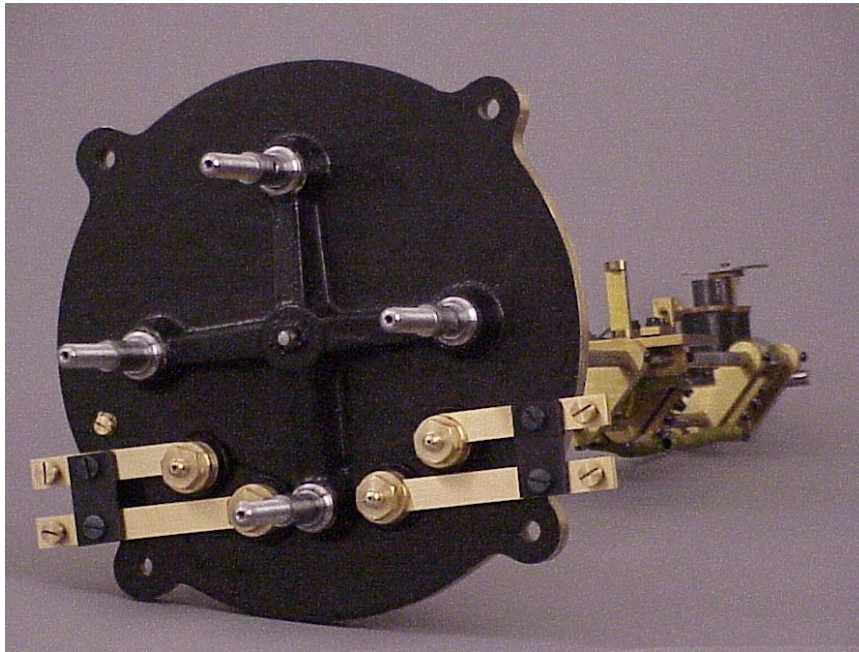
Travail de restauration°:

Nettoyer, adoucir et laquer des 4 vis de soutient

gratter la peinture qui s'écaille et recouvrir le tout d'une nouvelle couche de peinture soluble dans l'eau

Nettoyer et adoucir la face qui sera en contact avec le joint du cylindre de verre.

Enlever l'oxydation sur toutes les parties devant faire un contact électrique.



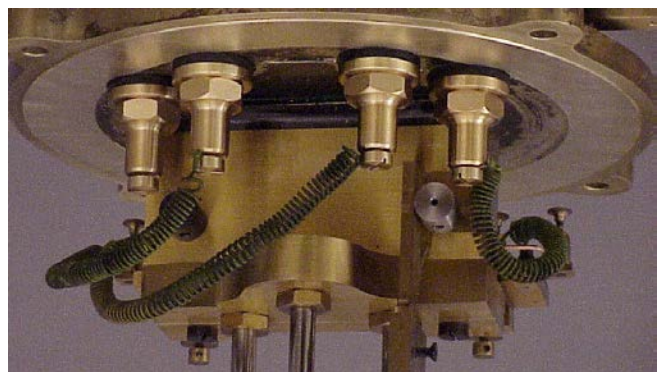
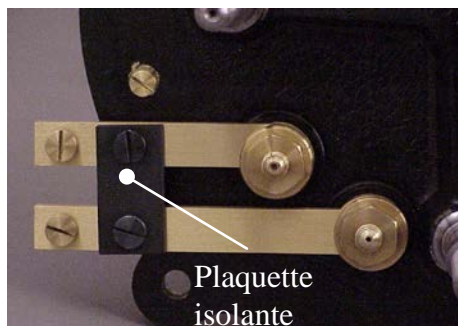
5.7 LES BORNES D'ALIMENTATION

Travail de restauration°:

-adoucir et laquer toutes les parties en laiton apparentes

-nettoyer soigneusement les parties coniques servant à garantir l'étanchéité et les enduire de graisse silicone.

-refaire les deux plaquette isolantes qui séparent les bornes.



5.8 LE ROBINET

Travail de restauration°:

- nettoyer soigneusement, adoucir, laquer et isoler avec de la graisse silicone.
- refaire un joint en plomb.



5.9 LE CYLINDRE DE VERRE

Travail de restauration°:

- nettoyer et laquer les deux bagues en laiton
- rafraîchir les joints en gomme laque entre le verre et les bagues de laiton.



6. REMERCIEMENTS

Développement et construction de l'alimentation ; mesures ; calculs.

Francis Schwab

Développements électroniques et horloges particulières

Renseignements techniques, historiques et traduction

Jaime Wyss

Dipl. Elektro-ing. und Betriebs-ing. ETH/SIA

Renseignements techniques et historiques

Ian Richardson

Specialist restorer of electric clocks

Claude Röthlisberger

*technico-commercial chez FAVAG puis Bosshard SA
(Moser Bär)*

Renseignements historiques

Pierre Girardet

*Professeur de réglage à l'école d'horlogerie de La
Chaux-de-Fonds*

Gilbert Jornod

*Collaborateur de l'observatoire de Neuchâtel de 1956-
1998*

Conseils pour l'élaboration des vernis anciens

Daniel Hugenin

*Restaurateur d'objets scientifiques au Musée d'Art et
d'Histoire de Genève*

Pour le MIH :

Daniel Curtit

Artisan restaurateur

Philippe Pellaton

Artisan restaurateur

Ludwig Oechslin

Conservateur

Jean-Michel Piguet

Conservateur adjoint

La régie, le secrétariat et La direction.

7. CONCLUSION

Travailler sur une pendule inventée par Mathias Hipp et construite par ses successeurs était une belle expérience.

Tous ces travaux sont passionnants, car peu communs et extrêmement bien conçus. Il y a toujours des mécanismes originaux à découvrir et à comprendre.

J'ai pu me plonger dans l'histoire, retrouver d'anciens documents et imaginer ce qui a pu provoquer l'arrivée de l'électricité dans le milieu de l'horlogerie neuchâteloise.

Les personnes avec lesquelles j'ai été amené à collaborer m'ont apporté de précieux renseignements et ont montré un vif intérêt au sujet de Hipp.

C'est ainsi que j'ai pu constater que l'horlogerie électrique n'a pas été oubliée mais au contraire, de plus en plus de gens s'y intéressent et y vouent une véritable passion.

8. BIBLIOGRAPHIE

Bulletins de la société des sciences naturelles de Neuchâtel, Neuchâtel, de 1859-1877

Chronomètres observés aux hautes altitudes et dans le gaz hydrogène, par Paul Ditisheim, Genève, 1923. C254

Chronométrie, par J. Andrade, Paris, 1908. C1079

Histoire de la pendulerie Neuchâteloise, par Alfred Chapuis, Neuchâtel, 1917. B4

Horloges-mères et installations horaires, par Ch. Poncet, 1905. C364

Journal Suisse d'horlogerie, 1877, p. 85-91 ; 1883-84, p 34-35, 161 ; 1885, p. 61-66 ; p. 261-267 ; 1886, p. 261-267, 325-331 ; 1893-94, p.58-64

L'école d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds, par Samuel Guye, La Chaux-de-Fonds, 1947. B655

L'électricité et ses applications à la chronométrie, par A. Favarger, Neuchâtel, 1924. C468

L'horlogerie électrique, par A. Tobler, Paris, 1891. AC149

La pendule électrique de précision de Hipp, par le Dr Hirsch, Neuchâtel, 1884-1889. I-V674

Le spiral réglant et le balancier depuis Huygens jusqu'à nos jours, par Paul Ditisheim, Lausanne, 1945. B86

Pionniers suisses de l'économie et de la technique, par Aymon de Mestral, Zurich, 1960. D2390

Pression atmosphérique et chronométrie, par Ch.-Ed. Guillaume, Paris, avril 1904. C273

Rapport de l'observatoire de Neuchâtel, par A. Hirsh, Neuchâtel, de 1860-1925.

Variation des chronomètres avec la pression atmosphérique, par Paul Ditisheim, Genève, 1904. C337

ANNEXES